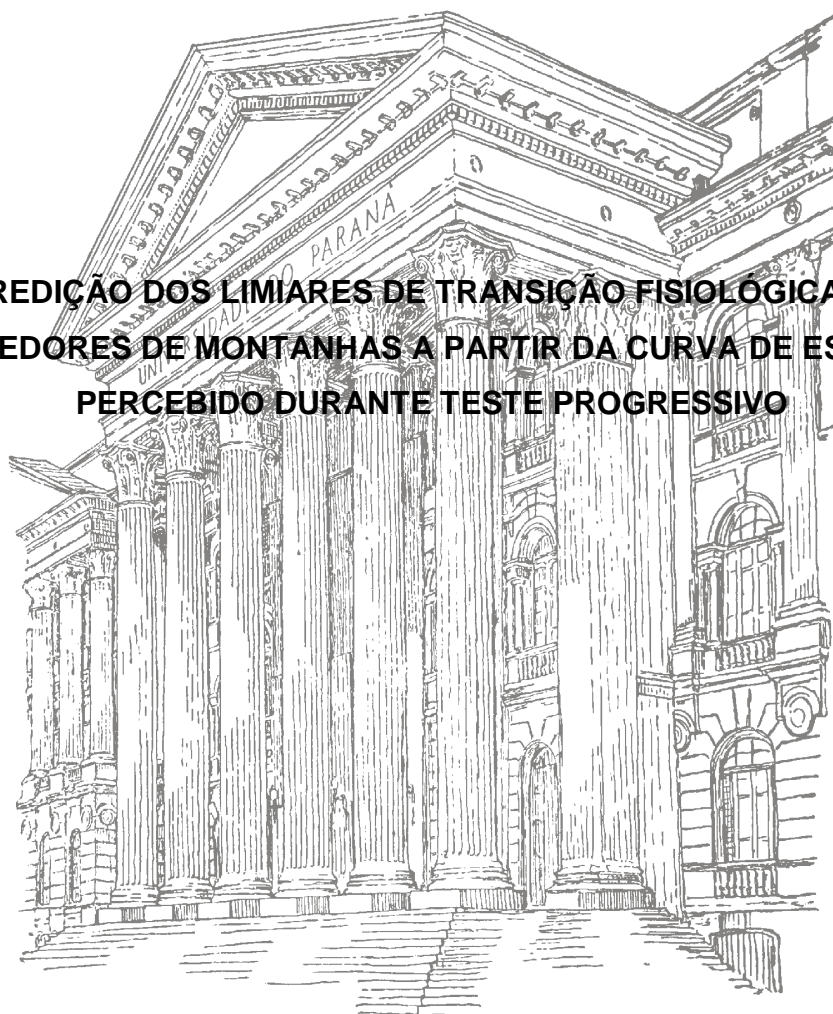


POLIANA DE LIMA COSTA

**PREDIÇÃO DOS LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA EM
CORREDORES DE MONTANHAS A PARTIR DA CURVA DE ESFORÇO
PERCEBIDO DURANTE TESTE PROGRESSIVO**



CURITIBA
2017

POLIANA DE LIMA COSTA

**PREDIÇÃO DOS LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA EM
CORREDORES DE MONTANHAS A PARTIR DA CURVA DE ESFORÇO
PERCEBIDO DURANTE TESTE PROGRESSIVO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Educação Física, do Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Setor de Ciências Biológicas, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: PROF. DR. RAUL OSIECKI

Coorientador: PROF. DR. FERNANDO ROBERTO DE OLIVEIRA

Universidade Federal do Paraná
Sistema de Bibliotecas

Costa, Poliana de Lima

Predição dos limiares de transição fisiológica em corredores de montanhas a partir da curva de esforço percebido durante teste progressivo. / Poliana de Lima Costa. – Curitiba, 2017.
89 f.: il. ; 30cm.

Orientador: Raul Osiecki

Co-orientador: Fernando Roberto de Oliveira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

1. Corridas. 2. Percepção. 3. Teste de esforço. I. Título II. Osiecki, Raul. III. Oliveira, Fernando Roberto de IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

CDD (20. ed.) 796.427



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Setor de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Educação Física



TERMO DE APROVAÇÃO

POLIANA DE LIMA COSTA

“Predição dos limiares de transição fisiológica em corredores de montanhas a partir da curva de esforço percebido durante teste progressivo”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação Física, Área de Concentração Exercício e Esporte, Linha de Pesquisa de Desempenho Esportivo do Programa de Pós-Graduação em Educação Física do Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte Banca Examinadora:

Professor Doutor Raul Osiecki
Presidente/Orientador

Professor Doutor Paulo Cesar Barauce Bento
Membro Interno

Professor Doutor Antonio Carlos Dourado
Membro Externo

Curitiba, 20 de Fevereiro de 2017.

A todos aqueles que trabalham em prol da ciência e em busca do conhecimento,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

"A vontade Deus nunca irá levá-lo aonde a graça de Deus não irá protegê-lo".

Elevo meu grande louvor a Deus e a Nossa Senhora, por não terem me deixado só nesta jornada, pelas graças incontáveis, pela força diária e pela luz que me conduziu nestes dois anos. Agradeço também por terem sido tão carinhosos em me enviar pessoas que "como anjos no deserto com Jesus", tornaram minha caminhada mais leve.

Aos meus pais e irmã, Ernani, Nirlei e Patrícia, pelo amor incondicional, pelas orações, pelo incentivo e por não medirem esforços para me ajudar a trilhar este caminho. Amo vocês!

Ao meu namorado Marcos, por ter vivenciado comigo a diversidade de sentimentos que experimentei neste ano, sendo meu apoio e força, nos momentos que mais precisei.

Ao meu orientador, Professor Dr. Raul Osiecki, pela oportunidade, confiança e ensinamentos que levarei comigo na continuação de minha caminhada. E, ao meu coorientador Professor Dr. Fernando Roberto de Oliveira, pela confiança, pela "desorientação" necessária para meu crescimento, pelos conselhos e paciência com meu jeito "Poliana" de ser.

Ao Professor Dr. André Rodacki, pelas valiosas contribuições acadêmicas, pelos incentivos, por acreditar em mim, pelas oportunidades a mim confiadas, e, principalmente, pela grande amizade.

Aos Professores, membros desta banca examinadora, titulares e suplentes, pelas críticas e apontamentos pertinentes que engrandeceram este estudo na qualificação e nesta defesa.

Às grandes amigas e "fabricantes de A1" do Laboratório Centro de Estudos da Performance Física (CEPEFIS) *feat.* Centro de Estudos do Comportamento Motor (CECOM), em especial: Gislaine, Pamela, Luana, Susana, Lorena, Carol, Juan, Jhonny, Rafael, Alysson, José Moiano, Yuri, Luís, Pedro, Palumbo, Joyce e Amilton, bem como seus respectivos pares, com os quais compartilhei grandes momentos de amizade, risadas, zoações, discussões, conselhos, força e auxílio em todos os momentos.

Ao Professor Dr. Sérgio Gregório da Silva, ao Laboratório Centro de Pesquisa em Exercício e Esporte (CEPEE) e ao aluno de doutorado Prof. Ms. Sandro dos Santos Ferreira, pelo empréstimo do espaço, auxílio e paciência durante as minhas coletas.

Ao Professor Raphael Bonatto, Professor Ramon Ferreira, Professor Leonardo Pontarelli e seus respectivos corredores de montanhas, que foram essenciais para que esta pesquisa se fundamentasse. Meu eterno agradecimento!

Ao secretário da PGEDF/UFPR, Rodrigo, por todo auxílio, amizade e trabalho dedicado a nós. Assim também agradeço ao Coordenador da PGEDF/UFPR, Professor Dr. Fernando Renato Cavichioli e todos os funcionários da UFPR, que de maneira direta ou indireta, proporcionaram um ambiente melhor para o trabalho de todos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela disponibilidade de bolsa de mestrado.

Por fim, à NCasa, por serem família e pela amizade durante estes dois anos, à Professora Dra. Paty Couto, Professor Dr. Sandro Fernandes da Silva e minha amiga Francielle Pereira dos Santos por muitas orientações em momentos que muito precisei.

Senhor Deus, abençoe a todos com uma porção generosa de Tua graça.

Amém!

“Penso no que faço com fé.
Faço o que devo fazer com amor.
Eu me esforço para ser cada dia melhor,
pois bondade também se aprende.
Mesmo quando tudo parece desabar,
cabe a eu decidir entre rir ou chorar,
ir ou ficar, desistir ou lutar;
porque descobri, no caminho incerto da vida,
que o mais importante é decidir.”

[Cora Coralina]

RESUMO

Investigações recentes têm sugerido abordagens alternativas e ferramentas auxiliares como forma de prever os limiares de transição fisiológica (LT), através do limiar da percepção subjetiva de esforço (DmáxPSE) e do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC). No entanto, o método carece de maiores investigações acerca da relação entre estes limiares e o desempenho de corredores de montanhas. O objetivo do presente estudo foi investigar a possibilidade de utilizar métodos alternativos não-invasivos (DmáxPSE e PDFC) para a identificação e predição do limiar ventilatório (LV) em corredores de montanhas. Participaram do estudo 12 indivíduos do sexo masculino (idade 34.08 ± 6.68 anos; estatura 176.71 ± 7.76 cm; massa corporal 73.65 ± 9.16 kg; 11.94 ± 3.68 %G). Foi aplicado um teste incremental máximo realizado em esteira ergométrica, no qual foram identificados os limiares LV, DmáxPSE e PDFC. A normalidade dos dados foi analisada por meio do teste Shapiro-Wilk. Para a comparação dos dados identificados nos limiares foi utilizado o teste de análise de variância de uma via (ANOVA *one-way*) ou o seu correspondente para amostras não paramétricas Kruskal-Wallis. Foi utilizado o teste *post hoc* de Tukey e o teste U de Mann-Whitney para identificar as diferenças encontradas. Para dados paramétricos, a análise da relação entre os limiares foi feita através da correlação de Pearson e, para dados não paramétricos foi utilizado o teste de correlação de Spearman. Os gráficos de limites de concordância de Bland-Altman também foram utilizados para a análise de concordância entre os métodos. Em todas as análises o nível de significância adotado foi de $p \leq .05$. Em relação ao método DmáxPSE, foi possível observar semelhança entre este e o LV para todas as variáveis analisadas, fortes correlações entre a FC no LV e a FC no DmáxPSE e entre o % FC no LV e o % FC no DmáxPSE, bem como baixo viés, indicando boa concordância. O método DmáxPSE, comparado ao PDFC apresentam-se similares, tendo em vista que todas as variáveis correspondentes aos limiares não apresentaram diferenças significativas. Foram encontradas semelhanças entre o PDFC e o LV para todas as variáveis, assim como fortes correlações e baixo viés, quando expressos em intensidade do LV vs. PDFC e % FC do LV vs. PDFC, obtendo-se evidências a favor de sua utilização para a aproximação do limiar anaeróbio (Lan). Conclui-se que o Lan, identificado pelo método ventilatório, pode ser predito pelos métodos DmáxPSE ou PDFC, dentre os quais não apresentaram diferenças significativas, além de correlação expressiva e baixo viés. Em adição, o DmáxPSE também se mostrou eficaz na predição do PDFC, que pode ser observado pela similaridade entre as variáveis analisadas entre os métodos.

Palavras-chave: Limiares. Percepção de esforço. Corredores de montanhas.

ABSTRACT

Recent investigations have suggested alternative approaches and auxiliary tools as a way of predicting physiological transition thresholds (TT), through the perceived exertion threshold (DmaxPE) and the heart rate deflection point (HRDP). However, the method needs further investigation into the relationship between these thresholds and the performance of mountain runners. The aim of the present study was to investigate the possibility of using non-invasive alternative methods (DmáxPE and HRDP) for the identification and prediction of ventilatory threshold (VT) in mountain runners. Twelve male subjects (age 34.08 ± 6.68 years, height 176.71 ± 7.76 cm, body weight 73.65 ± 9.16 kg, 11.94 ± 3.68 % fat) participated in the study. A maximal incremental test was performed on treadmill, in which the thresholds LV, DmáxPE and HRDP were identified. The normality of the data was analyzed using the Shapiro-Wilk test. For the comparison of the data identified in the thresholds, the one-way ANOVA or its corresponding for non-parametric samples Kruskal-Wallis was used. The Tukey post hoc test and the Mann-Whitney U test were used to identify the differences found. For parametric data, the analysis of the relationship between the thresholds was used through Pearson's correlation and for non-parametric data, the Sperman correlation test was used. Bland-Altman concordance limit plots were also used for agreement analysis between methods. In all analyzes, the significance level adopted was $p \leq .05$. In relation to the DmáxPE method, it was possible to observe similarity between this and the VT for all analyzed variables, strong correlations between HR in VT and HR in DmáxPE and between % FC in LV and % FC in DmáxPE, as well as low bias, indicating good agreement. The DmáxPE method compared to the HRDP were similar, considering that all the variables corresponding to the thresholds did not present significant differences. Some similarities has also been found between the HRDP and the VT for all variables, as well as strong correlations and low bias, when expressed in the intensity of the VT vs. HRDP and % FC of the LV vs. PDFC, obtaining evidence in favor of its use for the anaerobic threshold (AT) approximation. It can be concluded that the AT, identified by the ventilatory method, can be predicted by the DmáxPE or HRDP methods, among which there were no significant differences, in addition to expressive correlation and low bias. In addition, the DmáxPE was also effective in the prediction of the HRDP, which can be observed by the similarity between the variables analyzed between the methods.

Key-words: Thresholds. Perceived exertion. Mountain runners.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Representação dos domínios metabólicos – moderado, intenso e muito intenso – de acordo com o tradicional modelo didático.....	22
FIGURA 2. Identificação do segundo LL pelo método $D_{\text{máxLa}}$	24
FIGURA 3. Identificação do limiar da PSE pelo método $D_{\text{máxPSE}}$	29
FIGURA 4. Identificação do PDFC pelo método $D_{\text{máx}}$	32
FIGURA 5. Fluxograma das etapas da revisão sistemática.....	38
FIGURA 6. Análises entre a FC ($\text{batim} \cdot \text{min}^{-1}$) nos limiares determinados pelos métodos LV e $D_{\text{máxPSE}}$	60
FIGURA 7. Análises entre o % da FC nos limiares determinados pelos métodos LV e $D_{\text{máxPSE}}$	61
FIGURA 8. Análises de correlação e concordância entre a intensidade no LV vs. intensidade no PSE 5.8 fixo.....	62
FIGURA 9. Análises de correlação e concordância entre o % da intensidade no LV vs. % da intensidade no PSE 5.8 fixo.....	63
FIGURA 10. Análises de correlação e concordância entre a FC no LV vs. FC no PSE 5.8 fixo.....	63
FIGURA 11. Análises de correlação e concordância entre a FC no $D_{\text{máxPSE}}$ vs. FC no PSE 5.8 fixo.....	64
FIGURA 12. Análises de correlação e concordância entre a FC no PDFC vs. FC no PSE 5.8 fixo.....	64
FIGURA 13. Análises de correlação e concordância entre o % FC no PDFC vs. % FC no PSE 5.8 fixo.....	65
FIGURA 14. Análises entre as intensidades ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) dos limiares determinados pelos métodos LV e PDFC.....	68
FIGURA 15. Análises entre o % da FC nos limiares determinados pelos métodos LV PDFC.....	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Qualidade metodológica dos artigos selecionados.....	39
TABELA 2. Objetivos e metodologias dos artigos selecionados.....	43
TABELA 3. Características gerais da amostra e valores obtidos no final do teste incremental máximo.....	57
TABELA 4. Principais dados de desempenho, fisiológicos e psicológicos observados no Lan e identificados pelos diferentes métodos.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[La]	- Concentração de lactato sanguíneo
%FCmáx.	- Relativo à frequência cardíaca máxima
%VO ₂ máx.	- Relativo ao consumo de oxigênio máximo
Dmáx.	- Distância máxima
DmáxLa	- Limiar de lactato pelo método Dmáx.
DmáxPSE	- Limiar de percepção subjetiva de esforço pelo método Dmáx.
FC	- Frequência cardíaca
FCmáx.	- Frequência cardíaca máxima
FeCO ₂	- Fração expirada de dióxido de carbono
FeO ₂	- Fração expirada de oxigênio
Lan	- Limiar anaeróbio
LL	- Limiar de lactato
LT	- Limiares de transição fisiológica
LV	- Limiar ventilatório
MEEL	- Máximo estado estável de lactato
OBLA	- <i>Onset of blood lactate</i>
PDFC	- Ponto de deflexão da frequência cardíaca
PetCO ₂	- Pressão parcial final de dióxido de carbono
PetO ₂	- Pressão parcial final de oxigênio
PIFC	- Ponto de inflexão da frequência cardíaca
PSE	- Percepção subjetiva de esforço
RER	- Razão de troca respiratória
VCO ₂	- Produção de dióxido de carbono
VE	- Ventilação
VE.VCO ₂ ⁻¹	- Equivalente respiratório de dióxido de carbono
VE.VO ₂ ⁻¹	- Equivalente respiratório de oxigênio
VO ₂	- Consumo de oxigênio
VO ₂ máx.	- Consumo de oxigênio máximo
VO ₂ LT	- Consumo de oxigênio no limiar de transição fisiológica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA SOCIAL.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	HIPÓTESES A SEREM TESTADAS.....	17
4	ANTECEDENTES CIENTÍFICOS.....	18
4.1	LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA	18
4.1.1	Limiares de Lactato	21
4.1.2	Limiares Ventilatórios	23
4.2	PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO	25
4.3	PONTO DE DEFLEXÃO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA	29
4.4	CORREDORES DE MONTANHAS	31
4.4.1	Revisão Sistemática	33
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
5.1	CARACTERÍSTICA DA PESQUISA	48
5.2	LOCAL DA PESQUISA.....	48
5.3	CARACTERÍSTICA DA AMOSTRA.....	48
5.3.1	Critérios de Inclusão e Exclusão.....	49
5.4	DESENHO EXPERIMENTAL	49
5.5	INSTRUMENTOS DE MEDIDAS E AVALIAÇÕES E FONTES DOS MATERIAIS DE PESQUISA.....	50
5.5.1	Avaliação Antropométrica.....	50
5.5.2	Protocolo do Teste Incremental Máximo	51
5.5.3	Determinação dos Limiares de Transição Fisiológica.....	52
5.6	METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS.....	53
6	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	68
8	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	APÊNDICE.....	82
	ANEXO.....	85

1 INTRODUÇÃO

A identificação dos limiares de transição fisiológica (LT), através do limiar de lactato (LL) e limiar ventilatório (LV), são comumente utilizados para prescrição e avaliação do desempenho de atletas de *endurance* (BENTLEY *et al.*, 2001; FAUDE; KINDERMANN; MEYER, 2009; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003). O comportamento destas variáveis permite a identificação de zonas que delimitam intensidades – moderada, intensa e muito intensa (WHIPP; WASSERMAN, 1972) – através do uso de métodos “padrão-ouro” como marcadores de intensidade do consumo de oxigênio (VO_2), análises ventilatórias e metabólicas, *e.g.*, que contribuem para uma precisão na prescrição de treinamento (GAESSER; POOLE, 1996; SCHERR *et al.*, 2013).

No entanto, investigações recentes renovaram a atenção para abordagens alternativas e ferramentas auxiliares, que demandam de medidas não-invasivas, de baixo custo operacional e técnicas menos dispendiosas para a interpretação dos dados e identificação dos LT. Variáveis hemodinâmicas (CAMBRI *et al.*, 2008; CONCONI *et al.*, 1982; LIMA; KISS, 1999), análises da atividade muscular (LUCÍA *et al.*, 1999; MIYASHITA; KANEHISA; NEMOTO, 1981) e/ou variáveis perceptuais (FABRE *et al.*, 2013; SCHERR *et al.*, 2013; ZAMUNÉR *et al.*, 2011) vêm sendo abordadas na literatura, como forma de predizer os LT.

A percepção subjetiva de esforço (PSE) vem ganhando espaço, sendo utilizada para avaliação e prescrição de treinamento de atletas e não atletas (BORG, E.; KAIJSER, 2006; FABRE *et al.*, 2013; FOSTER, 1998; SCHERR *et al.*, 2013; ZAMUNÉR *et al.*, 2011). Ela possui um comportamento curvilíneo, no qual possibilita a determinação do limiar de PSE (DmáxPSE), sugerido como um preditor do limiar anaeróbio (Lan) (CHENG *et al.*, 1992; FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014), através do método Dmáx. , proposto inicialmente por Cheng *et al.* (1992), aplicado para a determinação do LL e, posteriormente por Fabre *et al.* (2013) aplicado à PSE.

Do ponto de vista prático, a frequência cardíaca (FC), através do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC), também vem sendo amplamente sugerida como preditora do Lan , para avaliação de atletas, por sua intensidade de ocorrência ser identificada em intensidades similares ao LL, bem como apresentarem fortes

associações, sendo estimador adequado da capacidade aeróbia (CONDE *et al.*, 2014; ERDOGAN *et al.*, 2010).

A avaliação das zonas de treinamento, *i.e.*, dos LT, através das concentrações de lactato sanguíneo ([La]) e da ventilação, apresenta metodologias de alto custo e/ou invasivas, de difícil aplicação prática nos treinamentos diários de atletas. Logo, a utilização da PSE e da FC tornam-se instrumentos simples e menos dispendiosos para a identificação de limiares em diferentes populações. Entretanto, os métodos carecem de maiores investigações acerca da relação entre os limiares ventilatórios, perceptuais e hemodinâmicos em corredores de montanhas, cujas provas expõem o corpo do atleta a inúmeras condições ambientais, como variações de terrenos, temperaturas e altitudes (KUPCHAK *et al.*, 2014), que podem ser responsáveis por fatores altamente exaustivos, que alteram processos fisiológicos e psicológicos no organismo do atleta (VITIELLO *et al.*, 2015) e, desta forma, a intensidade de ocorrência dos LT.

Por esta razão, o presente estudo busca elucidar a seguinte lacuna encontrada na literatura: As curvas de percepção de esforço e da FC são eficazes para predizer o LT em corredores de montanhas de elite, *i.e.*, o D_{máx}PSE e o PDFC podem ser utilizados como métodos alternativos para predizer o Lan e assim, serem utilizados na prescrição e avaliação do treinamento esportivo para este grupo de atletas de alto rendimento?

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA SOCIAL

A identificação dos LT é utilizada por treinadores na avaliação e prescrição de exercícios físicos para diversas populações e em diversas modalidades. O uso de equipamentos de alto custo, sofisticados e/ou invasivos, como análises das [La] e os métodos ventilatórios, além de avaliadores especializados para tal função, limitam a utilização destes limiares em clubes de treinamentos. Sendo assim, a utilização de metodologias simples e menos dispendiosas para a identificação destes limiares – através da PSE e FC, *e.g.* – torna-se fundamental para elaboração de treinamento físico.

Embora o uso da PSE e FC na substituição de métodos de alto custo para determinar os LT estejam sendo abordados pela comunidade científica, há uma lacuna literária quando se trata da utilização destes métodos em corredores de montanhas de elite, justificando assim o objetivo do presente estudo. A identificação do D_{máx}PSE e PDFC se torna relevante e uma atraente opção não-invasiva e de baixo custo operacional, para controle da função perceptiva, da intensidade de treinamento e avaliação da aptidão física de corredores de montanhas de elite.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Obter evidências de eficácia na utilização do limiar de percepção subjetiva de esforço (DmáxPSE), do ponto fixo 5.8 nos escores de PSE e do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) – para prever o limiar ventilatório (LV) em corredores de montanhas de elite, durante teste incremental na esteira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Identificar a intensidade de ocorrência do limiar ventilatório (LV) em corredores de montanhas de elite durante teste incremental na esteira;
- b. Identificar a intensidade de ocorrência do limiar de percepção subjetiva de esforço (DmáxPSE) em corredores de montanhas de elite durante teste incremental na esteira;
- c. Identificar a intensidade de ocorrência do ponto fixo 5.8 nos escores de PSE em corredores de montanhas de elite durante teste incremental na esteira;
- d. Identificar a intensidade de ocorrência do ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) em corredores de montanhas de elite durante teste incremental na esteira;
- e. Verificar a consistência das relações entre o limiar perceptual (DmáxPSE), limiar hemodinâmico (PDFC) e o limiar ventilatório (LV) em corredores de montanhas de elite.

3 HIPÓTESES A SEREM TESTADAS

H₀: A intensidade de ocorrência do DmáxPSE e do PDFC não são semelhantes à intensidade de ocorrência do LV, *i.e.*, não há consistência na utilização do DmáxPSE e PDFC para a identificação do Lan em corredores de montanhas de elite, já que foram encontradas diferenças significativas.

H₁: A intensidade de ocorrência do DmáxPSE e PDFC não diferem estatisticamente da intensidade ocorrida no LV, sendo métodos eficazes na identificação do Lan em corredores de montanhas de elite.

Baseado na literatura em destaque e na reprodutividade do método (CONDE *et al.*, 2014; ERDOGAN *et al.*, 2010; FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014; SCHERR *et al.*, 2013; ZAMUNÉR *et al.*, 2011), espera-se rejeitar H₀ e aceitar H₁, encontrando o DmáxPSE e PDFC em intensidades similares ao LV, possibilitando suas utilizações como indicadores do Lan. A existência de associação entre o DmáxPSE, PDFC e o LV permitirá o monitoramento do treinamento e avaliação da *performance* dos corredores de montanhas de elite, alternativamente, através da curva de esforço percebido e FC.

4 ANTECEDENTES CIENTÍFICOS

A seguinte revisão de literatura irá abordar os principais tópicos envolvidos, além de familiarizar o leitor com os conceitos básicos do problema apresentado. Para fins didáticos, a presente revisão também visa proporcionar o atual estado da arte sobre a identificação dos LT, principalmente, no que se refere à PSE e FC, como métodos alternativos para tal. Posteriormente, será apresentada uma revisão sistemática sobre a identificação dos LT em corredores de montanhas, com o objetivo de enfatizar a escassez de pesquisas que envolvam o tema.

4.1 LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA

Dentre os tradicionais parâmetros para a avaliação do desempenho aeróbico em provas de *endurance*, encontra-se o VO_2 máx. (HOWLEY; BASSETT; WELCH, 1995). Embora seja aceito pela literatura científica que a maior parte da energia disponível (adenosina trifosfato – ATP) para as corridas de longas distâncias sejam sintetizados através de meios oxidantes e que, um elevado VO_2 máx. seja uma condição para uma adequada conclusão da prova (DI PRAMPERO *et al.*, 1986), esta variável não é capaz de demonstrar a variabilidade de ritmos observados durante todo o tempo de corrida (BAUMANN *et al.*, 2012). Deve-se destacar que estas provas requerem a capacidade de sustentar intensidades submáximas em um percentual elevado do VO_2 máx., o que demonstra então, a participação parcial desta variável no desempenho de exercícios prolongados (DI PRAMPERO *et al.*, 1986; RIBEIRO, J. P., 2005).

Em adição, o consumo de O_2 pode ser elevado em condições ambientais, com terrenos irregulares, velocidades do vento ou estresse térmico (FARRELL *et al.*, 1979), observados, *e.g.* nas corridas em montanhas. Tem-se sugerido que o VO_2 máx. também pode não ser capaz de demonstrar efeitos do treinamento na capacidade de *endurance* (EDWARDS; CLARK; MACFADYEN, 2003).

Por estas razões, a avaliação de outras variáveis fisiológicas, além do VO_2 máx., que podem ser identificadas por análises de respostas de trocas gasosas

pulmonares ou eficiência de respostas metabólicas, como (1) LT – LV e LL em testes incrementais e/ou (2) economia de corrida, são requisitos importantes para a *performance* em provas de resistência (BENTLEY *et al.*, 2001; COYLE, E. *et al.*, 1991; FARRELL *et al.*, 1979; KILDING; WINTER; FYSH, 2006; MILLET, G. P.; DRÉANO; BENTLEY, 2003). Uma maior capacidade de sustentar altas frações de VO_2 máx. durante o maior tempo de corrida, *i.e.*, a carga de trabalho ou o VO_2 correspondente aos LT são melhores indicadores de desempenho de resistência do que o próprio VO_2 máx. para atletas de corridas de meia e longa duração (COYLE, E. *et al.*, 1991; COYLE, E. F. *et al.*, 1988; KUMAGAI *et al.*, 1982; PÉRONNET *et al.*, 1987; REYBROUCK *et al.*, 1986; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003).

Coyle *et al.* (1991) demonstraram que, embora classes diferentes de atletas de ciclismo (grupo 1 – atletas de elite nacional vs. grupo 2 – atletas em bom estado de treinamento) possuam valores equivalentes de VO_2 máx. ($\sim 70 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), o desempenho do grupo 1 na prova contrarrelógio de 40km obteve uma velocidade maior de 10% (53.9 ± 0.5 vs. 60 ± 1.1 min, respectivamente; $p < .01$) e produção de potência 11% maior (346 ± 7 vs. 311 ± 12 W, respectivamente; $p < .05$) no teste de desempenho em laboratório de uma hora em relação ao grupo 2. Em adição, os valores absolutos do VO_2 no LT ($\text{VO}_{2\text{LT}}$) foram 9% mais altos no grupo 1 do que no grupo 2 (3.99 ± 0.10 vs. $3.67 \pm 0.17 \text{ l.min}^{-1}$; $p = .11$). Dessa forma, uma alta intensidade identificada no LT sustentada por maior tempo, é considerada um marcador de ganhos na capacidade e sucesso durante uma prova de resistência (JONES; CARTER, 2000) e, resultados apontam para a importância da avaliação do LT como preditores da *performance* em atletas de resistência.

Alguns métodos são utilizados para a identificação destes LT durante testes progressivos, que delimitam zonas – moderado, intenso e muito intenso – nas quais tem-se classificações da intensidade do exercício com base no domínio metabólico (WHIPP; WASSERMAN, 1972) (ver Figura 1). Para este fim, o uso de métodos “padrão-ouro” como marcadores de intensidade do VO_2 , através de análises metabólicas e ventilatórias, devido ao seu comportamento trifásico, *e.g.*, contribuem para uma precisão na prescrição de treinamento (GAESSER; POOLE, 1996; SCHERR *et al.*, 2013; SILVA; OLIVEIRA, 2004).

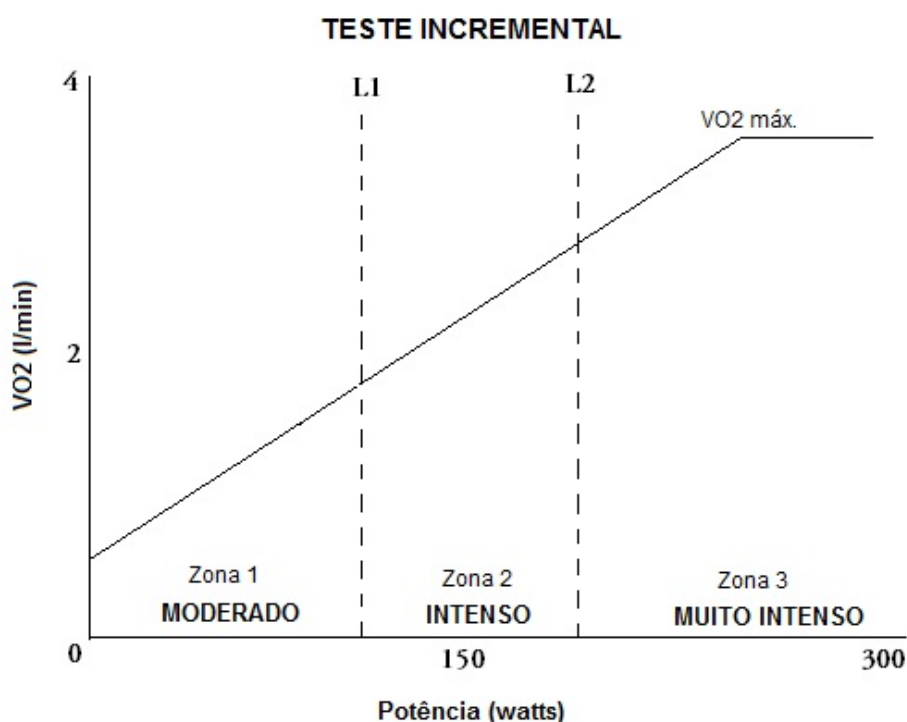


FIGURA 1. Representação dos domínios metabólicos – moderado, intenso e muito intenso – de acordo com o tradicional modelo didático (GAESSER & POOLE, 1996 – adaptado).

Todavia, outras metodologias alternativas, através de variáveis hemodinâmicas – como ponto de inflexão da frequência cardíaca (PIFC) e o PDFC, limiar da variabilidade da FC (CAMBRI *et al.*, 2008; CONCONI *et al.*, 1982; LIMA; KISS, 1999), análise da atividade muscular (LUCÍA *et al.*, 1999; MIYASHITA *et al.*, 1981) ou variáveis perceptuais (FABRE *et al.*, 2013; SCHERR *et al.*, 2013; ZAMUNÉR *et al.*, 2011) – também são abordadas na literatura como forma de prever os LT.

Ao decorrer dos anos, algumas nomenclaturas foram sugeridas, e que se referem ao primeiro e segundo LT. Para o primeiro LT, abrange-se termos como limiar de metabolismo anaeróbio (WASSERMAN; MCILROY, 1964), limiar aeróbio (KINDERMANN; SIMON; KEUL, 1979), limiar de lactato (HAGBERG; COYLE, 1982), limiar láctico (DAVIS *et al.*, 1976) ou LV_1 (ORR *et al.*, 1982). E, em relação ao segundo LT, este pode ser entendido por limiar aeróbico-anaeróbico (MADER; HECK; HOLLMANN, 1978), Lan (KINDERMANN *et al.*, 1979), limiar anaeróbico individual (STEGMANN; KINDERMANN; SCHNABEL, 1981), início do acúmulo de

lactato no sangue (*onset blood lactate accumulation* – OBLA) (SJÖDIN; JACOBS, 1981), LV₂ (ORR *et al.*, 1982) ou potência crítica (DEKERLE *et al.*, 2003).

No presente estudo, haverá uma simplória revisão dos LL e LV, com ênfase em metodologias simples e de baixo custo operacional para a identificação dos LT, através da PSE e PDFC.

4.1.1 Limiares de Lactato

Na década de 30, Owles (1930) propôs o termo “limiar” em um sofisticado estudo, capaz de observar em dois indivíduos que, em exercícios de baixa intensidade, as [La] permaneciam baixas e aumentavam com o incremento da intensidade, durante teste de carga constante de caminhada e em cicloergômetro. Em outras palavras, o aumento da carga do exercício leva a maiores [La] (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003), acima de valores de repouso, e é definido como início da acidose metabólica, LL ou Lan (KUMAGAI *et al.*, 1982). Sendo assim, análises sanguíneas das [La] durante o teste progressivo, através de seu comportamento trifásico, possibilitam a identificação das zonas de treinamento denominadas primeiro e segundo LL.

Os pontos determinados pelos LL, consideram a contribuição dos sistemas energéticos para a produção de ATP e manutenção da contração muscular (SVEDAHL; MACINTOSH, 2003), sendo que, a oferta de energia anteriormente ao primeiro LL procede da β -oxidação, enquanto que, no segundo LL, ocorre predomínio do metabolismo glicolítico para a ressíntese de ATP (BERTUZZI *et al.*, 2013; PIRES; LIMA-SILVA; DE OLIVEIRA, 2005). Estes, podem ser identificados através do início e/ou o primeiro aumento da [La] (primeiro LL) ou máximo estado estável de lactato (MEEL) no sangue e/ou segundo aumento de lactato sanguíneo (segundo LL) em teste incremental (FAUDE *et al.*, 2009; HAGBERG; COYLE, 1982; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003).

A identificação dos limiares pode fornecer uma estimativa de VO₂ máx., sendo utilizado para avaliação da saúde cardiovascular e/ou pulmonar, avaliação em programas de treinamento de atletas e categorização da intensidade de exercício (BENTLEY *et al.*, 2001; FAUDE *et al.*, 2009; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003). Esta

análise pode ser feita através de (1) estimativa visual das quebras da curva de lactato sanguíneo; (2) adoção de valores fixos na $[La]$ de 2 mmol.l^{-1} e 4 mmol.l^{-1} e interpolação de resultados; e (3) uso de modelos matemáticos (e.g. $D_{\text{máx.}}$) (ver Figura 2). Entretanto, existem controvérsias sobre a validade na identificação dos limiares a partir de $[La]$ fixas para prever o desempenho (BENTLEY *et al.*, 2001), por não considerarem a individualidade biológica, podendo assim, subestimar ou superestimar a real capacidade de *endurance* (FAUDE *et al.*, 2009).

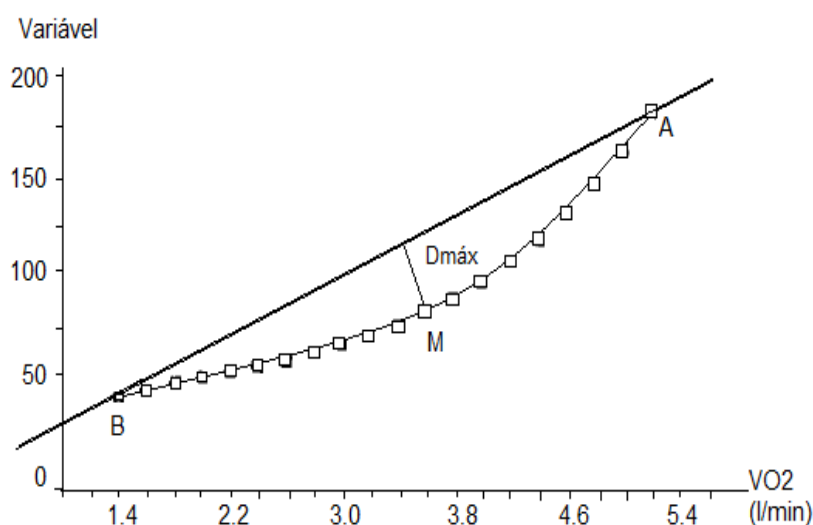


FIGURA 2. Identificação do segundo LL pelo método $D_{\text{máxLa}}$ – maior distância perpendicular entre um ajuste polinomial de 3º ordem e um ajuste linear.
 FONTE: Cheng *et al.* (1992) – adaptado.

Fatores como o VO_2 máx., economia de corrida, composição das fibras musculares, mas, principalmente a capacidade de manutenção de um alto VO_2 antes da acumulação de lactato no sangue, permite ao corredor melhor desempenho em provas de corrida. Hagberg; Coyle (1982) encontraram forte correlação ($r = .95$; $p < .005$) entre o primeiro LL e o desempenho em prova de 20 km em atletas de marcha atlética e, investigadores (MCRAE *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2013) demonstram que a utilização de intensidades sublimiar estão associados a melhora de variáveis indicadoras de aptidão aeróbia, justificando dessa forma, a importância da avaliação deste limiar para a precisão na prescrição de treinamento.

O segundo ponto de transição formado pela curva de lactato sanguíneo (segundo LL) proposto por Skinner; Mclellan (1980), pode estar associado ao MEEL (SMITH; JONES, 2001), no qual representa a máxima intensidade na qual há um equilíbrio entre a produção e remoção de lactato sanguíneo durante exercício incremental (AZEVEDO *et al.*, 2009). Smith; Jones (2001) não observaram diferenças significativas ($p > .05$) entre a velocidade (13.7 km.h^{-1} vs. 13.8 km.h^{-1}), VO_2 (3.30 l.min^{-1} vs. 3.39 l.min^{-1}) e $[\text{La}]$ (2.2 m.mol^{-1} vs. 2.2 m.mol^{-1}) correspondente ao LL_2 e MEEL, respectivamente.

Também foi demonstrado uma forte correlação entre a velocidade correspondente ao OBLA ($r \geq .91$), ou segundo LL, e o desempenho em corridas de longa distância (FARRELL *et al.*, 1979). Similarmente, Sjödin; Jacobs (1981) observaram altas correlações no desempenho em maratonas com a velocidade correspondente ao OBLA (ponto fixo de 4 mmol.l^{-1}) em esteira ($r = .96$), e no volume de treinamento ($r = .94$). Os autores também sugerem que a acidose metabólica pode ser identificada pelo aumento da ventilação, proporcionado pelo sistema de tamponamento pelo bicarbonato (HCO_3^-) dos íons de hidrogênio (H^+), decorrentes do ácido láctico. Sendo assim, a utilização de variáveis ventilatórias para detectar os LT, também podem ser eficazes e, serão abordadas a seguir.

4.1.2 Limiares Ventilatórios

Entre as décadas de 50 e 60, o uso de métodos que avaliassem as $[\text{La}]$ em testes de exercícios submáximos, foram incorporados em pesquisas com o objetivo de identificar uma intensidade, na qual pudesse proporcionar, de maneira segura, um estresse físico em pacientes com doenças cardiovasculares (WASSERMAN; MCILROY, 1964). Wasserman; Mcilroy (1964) observaram limitações cardiovasculares e no fornecimento de oxigênio para os músculos. Concomitantemente, uma redução do pH plasmático, nos níveis de HCO_3^- , e em variáveis ventilatórias, foram critérios observados e que refletem de forma confiável o metabolismo anaeróbio, sugerindo assim, o uso do termo específico “Lan” (DAVIS *et al.*, 1976; WASSERMAN *et al.*, 1973).

O método de utilização de variáveis ventilatórias como marcadores metabólicos, baseia-se na associação entre o aumento das [La], simultaneamente ao incremento da ventilação, em exercícios de cargas progressivas (CAIOZZO *et al.*, 1982; REYBROUCK *et al.*, 1986). Dessa forma, entende-se como LV a intensidade de exercício cujo aumento da ventilação torna-se desproporcional e não linear ao aumento da intensidade de exercício durante o teste progressivo (BROOKS, 1985).

Este aumento da respiração durante exercício exaustivo permite a identificação dos dois limiares de transição, conhecidos como primeiro e segundo LV (AMANN *et al.*, 2004; GASKILL *et al.*, 2001). O método para a identificação é baseado no comportamento de algumas variáveis respiratórias, como ventilação pulmonar (VE), consumo de oxigênio (VO_2), produção de dióxido de carbono (VCO_2), fração expirada de oxigênio (FeO_2), fração expirada de dióxido de carbono (FeCO_2), razão de trocas respiratórias (RER), equivalente respiratório de oxigênio ($\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$), equivalente respiratório de dióxido de carbono ($\text{VE} \cdot \text{VCO}_2^{-1}$), pressão parcial final de oxigênio (PetO_2) e pressão parcial final de dióxido de carbono (PetCO_2).

Sendo assim, incrementos no VO_2 são observados juntamente aos incrementos de carga. A VE, VCO_2 e a RER também aumentam desproporcionalmente ao aumento do VO_2 , enquanto as [La] não sofrem grandes alterações em relação aos valores de repouso (KUMAGAI *et al.*, 1982), até intensidades próximas ao primeiro LT (~70% VO_2 máx.), aqui denominado primeiro LV, que pode ser identificado através do aumento ou perda da linearidade do $\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$ e da PetO_2 sem o aumento concomitante do $\text{VE} \cdot \text{CO}_2^{-1}$. Em cargas superiores ao LV₁, as [La] aumentam rapidamente, juntamente à VE e ao VCO_2 (RIBEIRO, J. P., 2005), sendo possível a identificação do segundo LV, através do aumento da $\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$ juntamente ao aumento do $\text{VE} \cdot \text{CO}_2^{-1}$ e diminuição da PetCO_2 .

Os LV são considerados como um dos métodos mais empregados na avaliação de desempenho aeróbio e resultado esportivo (PIRES *et al.*, 2005) e melhor preditor da *performance* de *endurance* em exercícios de longa duração do que o VO_2 máx., com grande utilidade até mesmo em aplicações clínicas, estimando-os em testes submáximos de esforço (REYBROUCK *et al.*, 1986). Investigadores também reportam que a troca gasosa nos LV é um método válido e não invasivo para a detecção do início da acidose metabólica (DAVIS *et al.*, 1976).

Wasserman; Mcilroy (1964) foram os primeiros pesquisadores a identificar as zonas de transição pelo modelo ventilatório, através de métodos de inspeção visual (BEAVER; WASSERMAN; WHIPP, 1986). No entanto, os métodos demonstram uma subjetividade na interpretação dos dados, que permitem possíveis equívocos no ponto de quebra da curva (YEH *et al.*, 1983). Beaver *et al.* (1986) utilizaram a técnica *V-slope* para a identificação do limiar, no qual foram plotados os valores de CO₂ e O₂, gerando duas retas através de regressão linear. A intercepção das duas retas é denominada *V-slope* e, o método é sugerido como bom preditor do LV. Foi demonstrado, no entanto, que o melhor índice para identificar o primeiro LV é o VE.VO₂⁻¹ (AMANN *et al.*, 2004; CAIOZZO *et al.*, 1982). Amann *et al.* (2004) sugerem a escolha deste método como mais consistente, no que diz respeito à confiabilidade e validade (teste e reteste), durante o desempenho em teste de 40 km contrarrelógio de ciclismo.

Embora a utilização dos LL e LV sejam considerados métodos “padrão-ouro” para a identificação dos LT, estes são considerados de alto custo, invasivos e/ou de difícil manuseio operacional. Por esta razão, investigações recentes renovaram a atenção para abordagens alternativas e ferramentas auxiliares, que demandam de baixo custo operacional, medidas não-invasivas e técnicas menos dispendiosas para a interpretação dos dados, durante a identificação dos LT. Estes métodos serão então mencionados a seguir.

4.2 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO

Em meados da década de 50, o conceito de esforço percebido foi introduzido como forma de compreender o grau de dor, desconforto, fadiga localizada e falta de ar durante o exercício, além de sua aplicabilidade em relação ao desporto (BORG, G. A., 1982). A PSE é uma variável psicofísica que consiste na integração de sinais aferentes, periféricos e centrais, de vários sistemas fisiológicos, utilizada para inferir a intensidade durante uma atividade (BORG, E.; KAIJSER, 2006; CREWE; TUCKER; NOAKES, 2008; ESTON, R., 2012; TUCKER, 2009). Durante o exercício, a PSE se eleva concomitantemente com o esforço realizado. Em resposta às alterações metabólicas periféricas, sinais centrais podem ser

sinalizadores da percepção durante o exercício (BORG, G.; HASSMÉN; LAGERSTRÖM, 1987; DAVIES; ROWLANDS; ESTON, 2009; ROBERTSON, 1981). Sendo assim, a PSE é gerada a partir da integração de condições intrínsecas e extrínsecas e reflete as respostas quanto à classificação do esforço ou grau de dificuldade de manutenção da carga imposta nos músculos, articulações e no sistema cardiopulmonar (ELSANGEDY *et al.*, 2013).

A utilização de escalas com o objetivo de quantificar o esforço percebido tem sido também uma atração para monitoramento da intensidade do exercício (BORG, E.; KAIJSER, 2006; BORG, G. A., 1982; ESTON, R., 2012; ESTON, R. G., 2009), permitindo a prescrição de exercícios em diferentes modalidades e para diferentes grupos de indivíduos. Com estratégia simplificada, destacam-se a escala de Borg categoria 6 – 20 pontos, Borg Category-Ratio-10 scale (escala CR – 10 de Borg) e Borg CentiMax scale (escala CR – 100 de Borg) (BORG, E.; KAIJSER, 2006; BORG, G. A., 1982). A ACSM (2009) reporta que a PSE pode ser utilizada para modular ou refinar a prescrição de exercícios, sendo fortemente correlacionada com variáveis fisiológicas durante o exercício, como a FC, [La], %VO₂ máx. (FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014; GARBER *et al.*, 2011; ZAMUNÉR *et al.*, 2011).

Adicionalmente, a utilização de escalas de esforço percebido para a identificação do LT vem sendo pesquisada (SCHERR *et al.*, 2013; ZAMUNÉR *et al.*, 2011). A intensidade de exercício na qual o metabolismo anaeróbico complementa o metabolismo aeróbico para produção de energia, denominado como Lan (BEAVER *et al.*, 1986), tem demonstrado correlação com a PSE. Zamunér *et al.* (2011) demonstraram associação da escala CR-10 de Borg, G. A. (1982) com o Lan e, sugerem que a prescrição de exercício em intensidades equivalentes a este limiar por meio da PSE torna-se possível, e que, pontuações próximas a 5 ou "forte" podem ser utilizados como parâmetros para quantificar a intensidade de exercício aeróbico, em mulheres ativas ou sedentárias.

Já Scherr *et al.* (2013), ao avaliarem 2.560 homens e mulheres, com diferentes idades, nível de atividade física, portadores ou não de doença arterial coronariana, utilizando a escala de Borg categoria 6 – 20 pontos, demonstraram que limiares identificados pela [La] fixa de 3 e 4 mmol.l⁻¹ estavam associados aos valores fixos de PSE de 11 – 13 e 13 – 15, respectivamente, após aplicarem testes incrementais em esteira e ciclo ergômetro. Sendo assim, os autores sugerem que

PSE é um instrumento válido e de baixo custo operacional para a identificação do LT relacionado às concentrações fixas de 3 e 4 mmol.l⁻¹.

Contudo, o uso de valores fixos para a identificação dos LT não considera a individualidade biológica, supondo que os LT ocorrem na mesma intensidade em todos os indivíduos. Recentemente, a aplicação do modelo matemático Dmáx. – sugerido para a determinação do LL por Cheng *et al.* (1992)– possibilitaria a identificação do LT através da PSE (FABRE *et al.*, 2013) e investigadores têm utilizado este método em novas pesquisas (CONDE *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2014), a fim de testar a reprodutibilidade do mesmo. O método consiste em um ajuste polinomial de 3ª ordem por todos os pontos e um ajuste linear unindo os dois extremos da curva de relação lactato/intensidade (CHENG *et al.*, 1992) ou PSE/intensidade (FABRE *et al.*, 2013) em um gráfico. Os valores preditos encontrados pelos dois ajustes são subtraídos e, o maior valor corresponde ao limiar da PSE (DmáxPSE) (ver Figura 3). Para a PSE, este limiar está associado ao segundo LL.

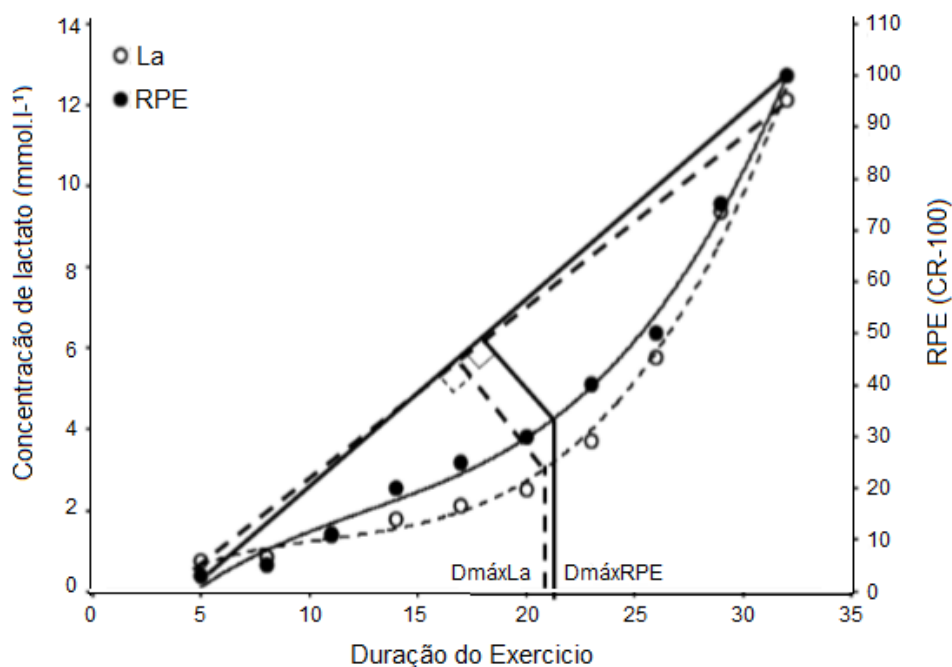


FIGURA 3. Identificação do limiar da PSE pelo método DmáxPSE– maior distância perpendicular entre um ajuste polinomial de 3º ordem e um ajuste linear.
 FONTE: Fabre *et al.*(2013) – adaptado.

Em suas investigações, Fabre *et al.* (2013) confirmaram a hipótese de que o método Dmáx. poderia ser aplicado nos escores de PSE, utilizando a escala CR-100 de Borg, sendo proposto um novo método para a detecção individual do segundo LL, durante teste incremental até a exaustão. Os autores avaliaram 21 indivíduos (13 homens e 8 mulheres) em ciclo ergômetro e não encontraram diferenças significativas ($p > .05$) entre o método Dmáx. utilizado para o LL e DmáxPSE (ver Figura 3), além de uma forte correlação ($r = .97$) entre eles.

Ferreira *et al.* (2014) não encontraram diferenças significativas ($p \geq .05$) na intensidade ocorrida nos DmáxPSE e LL identificados pelo método Dmáx., ao avaliarem nove indivíduos fisicamente ativos, em ciclo ergômetro e utilizarem a escala de CR-10 de Borg. Similarmente, Conde *et al.* (2014) também encontraram intensidades similares ($p \geq .05$) ocorridas no DmáxPSE, utilizando o método Dmáx. e o LL, pela [La] fixa de 4 mmol.l⁻¹ (*i.e.*, OBLA). Estas investigações sugerem que este método considera as variações individuais nas [La], *i.e.* as mudanças que ocorrem nas [La], diferentes em cada indivíduo, são acompanhadas pelas mudanças nos escores da PSE (FABRE *et al.*, 2013), sendo este eficaz na determinação do segundo LL.

Em contrapartida, Ferreira *et al.* (2015), utilizando o método Dmáx. para a identificação do LL e DmáxPSE, demonstraram que a produção de potência no DmáxPSE foi menor comparado à produção de potência no LL ($p < .05$), ao avaliarem ciclistas bem treinados ($n = 13$) e indivíduos fisicamente ativos ($n = 11$) em teste incremental em cicloergômetro. No entanto, os autores sugerem que o DmáxPSE pode ser útil para quantificar o estado de treinamento entre os indivíduos com níveis de desempenho diferentes, auxiliando atletas e treinadores no monitoramento do treinamento.

Diante do exposto, a PSE é vista como uma ferramenta auxiliar, simples e menos dispendiosa para a identificação do segundo LT, avaliação de desempenho e prescrição de treinamento em diferentes populações. No entanto, percebe-se ainda uma discrepância na literatura, quanto aos resultados em atletas de *endurance*, fazendo-se necessárias novas investigações sobre o método como preditor do LT. Em adição, investigações também devem ser realizadas acerca da relação entre os LV e perceptuais em atletas de corridas de montanhas.

4.3 PONTO DE DEFLEXÃO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

A facilidade de mensuração da FC torna esta variável comumente utilizada na prescrição de treinamentos para atletas, incluindo atletas de resistência em trilhas, e.g., cujo controle da intensidade de treinamento muitas vezes não pode ser realizado pela velocidade de corrida, devido à distância percorrida ser desconhecida (BRANCO; VIANNA; LIMA, 2004). Sua fidedignidade durante a prescrição do treinamento se deve ao fato de que a FC e VO_2 aumentam linearmente com a intensidade do exercício.

O comportamento sigmoide (“S”) da FC durante a realização de protocolos de testes incrementais, permite a identificação de dois pontos de transição fisiológica, em suas fases côncava e convexa (CAMBRI *et al.*, 2008; COUTO *et al.*, 2013; DE OLIVEIRA PIRES *et al.*, 2008). A fase côncava, na qual ocorre a primeira quebra da linearidade da FC é denominada como PIFC (COSTA; DE LIMA; DE-OLIVEIRA, 2007; COUTO *et al.*, 2013) e, a fase convexa, representada pela segunda quebra da linearidade da FC é conhecida como PDFC.

O PDFC foi primeiramente descrito na literatura por Conconi *et al.* (1982), que avaliaram 210 corredores de *endurance* altamente treinados e, encontraram o PDFC em cargas similares ao segundo LL, com forte correlação ($r = .99$). Os autores ressaltam que a deflexão na linearidade observada é tão acentuada quanto as modificações nas variáveis respiratórias, bem como aumento do lactato sanguíneo demonstrados por Wasserman; Mcllory (1964) e por Davis *et al.* (1976), acima do LT_2 , e sugerem a sua utilização como uma ferramenta simples e não invasiva de mensuração deste limiar.

Estudos realizados posteriormente também buscaram elucidar a capacidade de identificação do segundo LT pelo PDFC, seguindo diferentes metodologias (CONDE *et al.*, 2014; COUTO *et al.*, 2013; ERDOGAN *et al.*, 2010; MIKULIC; VUCETIC; SENTIJA, 2011).

Erdogan *et al.* (2010), ao avaliarem 22 remadores em um teste incremental em remo ergômetro, verificaram fortes correlações para as variáveis VO_{2max} . ($r = .97$), FC ($r = .96$) e potência ($r = .86$) correspondentes ao LT_2 e PDFC. Similarmente, Mikulic *et al.* (2011) avaliaram 89 remadores em um teste incremental em remo ergômetro, até a exaustão, no qual foram mensurados o LT_2 e o PDFC por inspeção

visual e modelo matemático de regressão. Os autores encontraram fortes correlações positivas entre o LV e o PDFC para todas as variáveis fisiológicas estudadas ($r = .79 - .96$; $p < .001$), e não reportaram diferenças significativas entre a potência, $VO_{2\text{máx.}}$, ventilação, volume corrente e taxa respiratória identificadas no LV e no PDFC.

Embora a metodologia de inspeção visual tenha sido adotada em diferentes estudos, o método apresenta limitações que, muitas vezes, impedem a identificação da quebra da linearidade no PDFC em determinados sujeitos (RIBEIRO, J. *et al.*, 1985). Por esta razão, Kara *et al.* (1996) propuseram o modelo $D_{\text{máx.}}$ aplicado ao PDFC, cujos valores iguais ou superiores a 140 bpm são plotados em função da intensidade do teste, para que seja feito um ajuste linear – que liga os dois extremos da curva – e, um ajuste polinomial de 3ª ordem – que passa por todos os pontos da curva. A maior distância entre os dois ajustes ($D_{\text{máx.}}$) representa o PDFC (ver Figura 4).

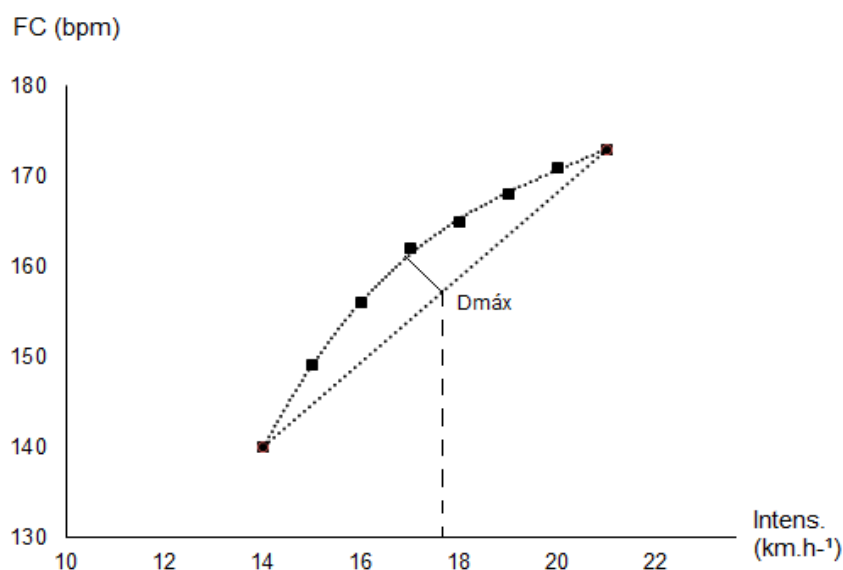


FIGURA 4. Identificação do PDFC pelo método $D_{\text{máx.}}$ (KARA *et al.*, 1996) – maior distância perpendicular entre um ajuste polinomial de 3º ordem e um ajuste linear.
FONTE: Valores observados em um indivíduo representativo da amostra.

Recentemente, Conde *et al.* (2014) avaliaram nove sujeitos em teste incremental em esteira, afim de validar o PDFC identificado pelo método proposto por Kara *et al.* (1996), para a identificação do LL identificado pela concentração fixa de 4 mmol.l⁻¹ (OBLA). Os autores observaram que o PDFC ocorreu em intensidades

similares ao LL, em valores absolutos e relativos, bem como fortes correlações entre PDFC e o LL, para as variáveis FC, % FC, PSE e velocidade. Dessa forma, foi sugerido que o PDFC, através do método Dmáx., pode ser utilizado para prescrição e monitoramento do treinamento, e identificação do segundo LT.

O conceito do PDFC parece estar bastante esclarecido pela literatura vigente (Ferreira *et al.*, 2012). Muito se sabe que o comportamento da FC durante o exercício está associado, em grande parte, à demanda fisiológica do músculo ativo (LEWIS *et al.*, 1983), bem como a alterações nos centros bulbares, com a redução da atividade parassimpática e estimulação da atividade simpática (ALONSO *et al.*, 1998). Sabe-se também que, em provas de longa distância, a baixa disponibilidade de carboidratos na dieta e alterações nos níveis de catecolaminas durante o exercício, podem ocasionar a ocorrência do Lan em cargas mais baixas e afetar as respostas cardiovasculares (LANGFORT *et al.*, 2004; LIMA-SILVA *et al.*, 2010).

Sendo os corredores de montanhas, atletas expostos à inúmeras condições como, inadequação de adaptações metabólicas frente à resistência, fatores externos – percurso da maratona, temperatura, umidade e vento (CONCONI *et al.*, 1982) – bem como redução na disponibilidade de carboidratos, alterações nos níveis de catecolaminas, com consequente variações cardiovasculares, fazem-se necessárias maiores investigações para esta modalidade, bem como para a confirmação da aplicação do método matemático proposto para a identificação do PDFC (KARA *et al.*, 1996).

4.4 CORREDORES DE MONTANHAS

A adesão da população em eventos de corridas, como maratonas, triatlons e ultramaratonas, tem aumentado exponencialmente nas últimas três décadas (HOFFMAN; ONG; WANG, 2010; KUPCHAK *et al.*, 2014; MILLET, G. Y., 2011) e, concomitantemente, o número de eventos em trilhas e/ou montanhas também vem adquirindo seu espaço nos últimos anos (BURTSCHER, J. *et al.*, 2011; MILLET, GRÉGOIRE P; MILLET, 2012; SAUGY *et al.*, 2013).

As corridas de montanhas são originadas da modalidade do atletismo e consideradas como um esporte não-Olímpico. São amparadas pela Associação

Mundial de Corridas de Montanhas (World Mountain Running Association – WMRA), fundada em 1984 e, pela Associação Internacional de Federações de Atletismo (International Association of Athletics Federations – IAAF), que as reconheceram oficialmente em 2002, como uma competição internacional (CARLSOHN; MÜLLER, 2014).

Realizadas em montanhas de origem natural (CARLSOHN; MÜLLER, 2014), não pavimentadas, com deslocamento vertical extenso (subidas e descidas) (EASTHOPE *et al.*, 2010), estas corridas são classificadas de acordo com habilidades, gênero e idade dos corredores. Para as corridas clássicas de montanhas, distâncias e número total de desnível acumulados são recomendados. Em adição, as corridas de longa distância em montanhas, incluem percursos aproximados de 20 até 42 km (ou acima de 90 km para ultramaratonas). Além destas, as corridas de revezamento e corridas por tempo em montanhas também fazem parte dos campeonatos (IAAF, 2015).

O desempenho individual para o alcance de melhores resultados durante corridas de longa distância, pode ser influenciado por diversos fatores (FARRELL *et al.*, 1979). Exercícios prolongados de resistência, como as ultramaratonas, expõem o corpo do atleta a inúmeras condições ambientais, como flutuações de temperaturas e altitudes (KUPCHAK *et al.*, 2014), que podem ser responsáveis por fatores altamente exaustivos que alteram processos fisiológicos no organismo do atleta (VITIELLO *et al.*, 2015) e que vêm adquirindo interesses dentre os pesquisadores nos últimos anos. Destacam-se a indução de dano muscular (HOFFMAN *et al.*, 2012; NIEMAN *et al.*, 2005), aumento de processos inflamatórios (MRAKIC-SPOSTA *et al.*, 2015), alterações em funções imunes (NIEMAN *et al.*, 2005), desequilíbrio nos níveis de fluidos e eletrólitos (CARLSOHN; MÜLLER, 2014; KRUSEMAN *et al.*, 2005) consequências cardiovasculares (JOUFFROY *et al.*, 2015). Além destes, o VO₂ máx. e o L_{an} (BURTSCHER, M.; FÖRSTER; BURTSCHER, 2008; HEINRICH; BURTSCHER; BURTSCHER, 2012) e variáveis antropométricas (CARLSOHN; MÜLLER, 2014), embora dependentes da distância da corrida, também se relacionam com a *performance* (KNECHTLE; KNECHTLE; ROSEMAN, 2010).

No entanto, pouco se sabe sobre os LT em corredores de montanhas, como pode-se perceber na revisão sistemática a seguir.

4.4.1 Revisão Sistemática

Determinação dos limiares de transição fisiológica em corredores de montanhas: Uma revisão sistemática.

RESUMO

A determinação dos LT é um dos métodos mais importantes de avaliação e prescrição de atletas de *endurance*. No entanto, diferentes metodologias para a identificação destes limiares, bem como a utilização de métodos eficazes, simples e de baixo custo ainda são controversas na literatura e são apontadas como objetos de estudos. Desta forma, o objetivo desta revisão sistemática foi analisar as metodologias empregadas para a determinação dos LT em corredores de montanhas. A busca foi realizada nas bases de dados *Medline/Pubmed*, *Science Direct*, *Scopus*, *BVS (Bireme)* e *Sport Discus*. Após análise realizada aos pares de forma independente, quatro artigos foram incluídos nesta revisão. Verificou-se que 75% dos estudos utilizaram atletas de alto rendimento e, somente 25% adotaram como amostra atletas amadores. Dois estudos avaliaram a relação do desempenho em testes laboratoriais com a competição, um estudo investigou testes que se aproximam à realidade da corrida e, outro estudo analisou os fatores ligados à aclimatização e treinamento com o resultado em provas de corridas. Para identificar L_{an} , todos os estudos utilizaram a espirometria, na qual os valores de intensidade de ocorrência do LV em valores relativos ocorreram entre 80 e 90 % $VO_{2máx}$. A partir da análise dos resultados da presente revisão, observou-se a necessidade de maiores investigações que abordem a identificação dos LT, bem como alternativas simples, de baixo custo e eficazes para sua determinação, a fim de otimizar e facilitar sua utilização em corredores de montanhas.

Palavras-Chaves: Corredores de montanhas; limiares.

INTRODUÇÃO

Estudos vigentes na literatura demonstram que o desempenho bem-sucedido de atletas em eventos de longa distância depende de inúmeros fatores, tais como o VO_2 máx., a fração de VO_2 máx. sustentado durante uma corrida, custo energético (DI PRAMPERO *et al.*, 1986), além de outros pré-requisitos, como a aptidão física e cardiorrespiratória (BURTSCHER; FÖRSTER; BURTSCHER, 2008), estratégias de treinamento (KNECHTLE; KNECHTLE; ROSEMAN, 2010), entre outros, fundamentais para a segurança e prevenção de lesões.

Para Burtscher *et al.* (2008), a captação de oxigênio no LT ($\text{VO}_{2\text{LT}}$) é considerada um fator importante para a determinação do desempenho em corridas de *endurance* e, a capacidade de mantê-la em níveis superiores com o envelhecimento, pode ser observada em atletas corredores de montanhas, quando comparados aos seus pares não treinados. A identificação dos LT, através do LL ou LV, são comumente utilizados para prescrição e avaliação do desempenho de atletas de *endurance* (BENTLEY *et al.*, 2001; FAUDE *et al.*, 2009; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003) e sua importância é justificada pela associação destes limiares com o desempenho (FARRELL *et al.*, 1979; FAUDE *et al.*, 2009).

No entanto, embora recentemente investigados, pouco se sabe sobre o uso das metodologias mais utilizadas para tal identificação em atletas corredores de montanhas, cuja popularidade da modalidade vem aumentando nos últimos anos (HOFFMAN; ONG; WANG, 2010; KUPCHAK *et al.*, 2014; MILLET, G. Y., 2011). Sendo assim, os métodos de determinação dos limiares carecem de maiores investigações para esta modalidade, cujas provas expõem o corpo do atleta a inúmeras condições ambientais, como variações de terrenos, temperaturas e altitudes (KUPCHAK *et al.*, 2014), que podem ser responsáveis por fatores altamente exaustivos, que alteram processos fisiológicos e psicológicos no organismo do atleta (VITIELLO *et al.*, 2015) e, desta forma, a intensidade de ocorrência destes limiares.

O interesse em investigações nesta área científica ainda é precário e a grande maioria dos estudos têm se concentrado em objetivos que envolvam estado de hidratação, nutrição, antropometria ou lesões (CARLSOHN; MÜLLER, 2014; HOFFMAN, 2008a; HOFFMAN *et al.*, 2012; KRUSEMAN *et al.*, 2005; OLIVER; GOLJA; MACDONALD, 2012). Por esta razão, objetivo da presente revisão foi

analisar as diferentes metodologias utilizadas para a determinação dos LT em corredores de montanhas.

MÉTODOS

O presente estudo seguiu as diretrizes propostas pela literatura (SAMPAIO; MANCINI, 2007), sendo realizada aos pares. Inicialmente, foi realizada a busca, na língua inglesa e portuguesa nas bases de dados eletrônicas *Medline/Pubmed*, *Science Direct*, *Scopus*, *BVS (Bireme)* e *Sport Discus*. Os descritores utilizados foram os mais encontrados nessa área de estudo *mountain runners* (corredores de montanhas) e *threshold* (limiar) e foi utilizado o operador lógico “AND”. A busca foi realizada em outubro de 2016 e foi limitada aos últimos dez anos de publicação, a fim de garantir a atualidade dos resultados.

Foram incluídos artigos originais, artigos de revisão e artigos relacionados a corredores de montanha. Esta primeira etapa foi realizada por dois pesquisadores, de forma independente e foram encontrados 1.176 artigos. Na segunda etapa, primeiramente foram excluídos os títulos repetidos. Logo após, dois revisores, de forma independente, excluíram os títulos que não tivessem relação com o tema (amostra que não fosse de corredores e falta de apresentação dos limiares de transição fisiológica), restando um total de 88 artigos. Da mesma maneira, foi realizado a leitura dos resumos e, posteriormente, a leitura na íntegra dos artigos, excluindo os estudos que não apresentassem relação com o tema proposta, obtendo assim, quatro artigos incluídos nesta revisão. Os procedimentos adotados para cada uma das etapas estão apresentados na Figura 5.

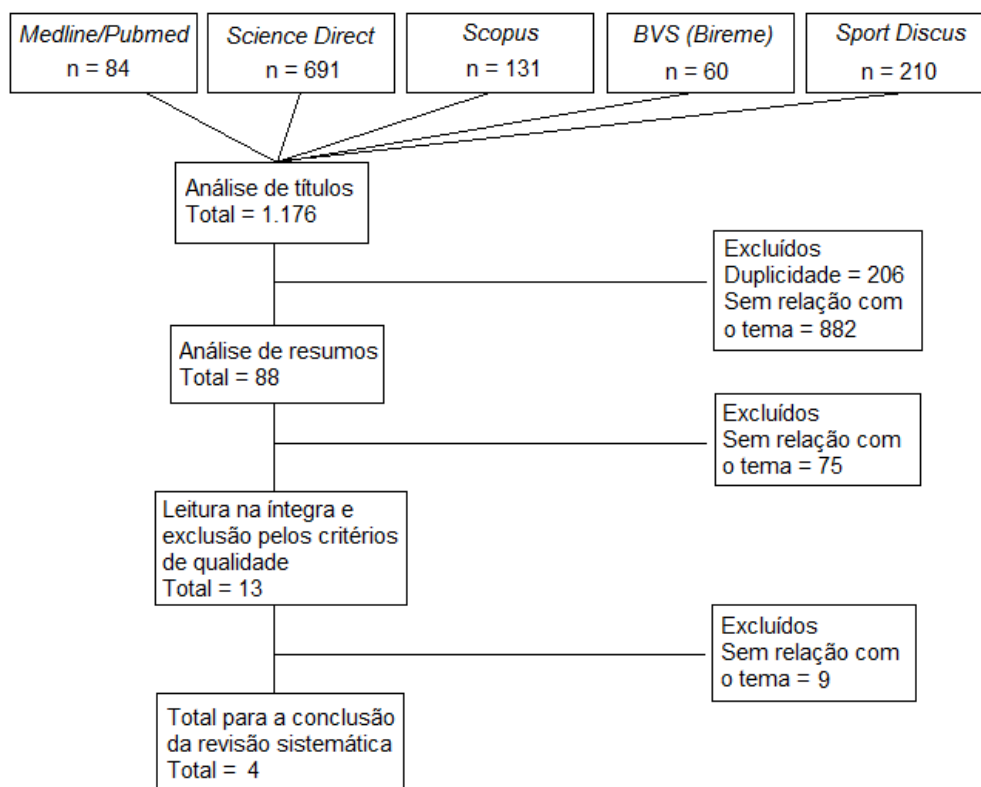


FIGURA 5. Fluxograma das etapas da revisão sistemática.

Os artigos foram analisados quanto à qualidade metodológica, seguindo um protocolo elaborado para o presente estudo. A qualidade dos artigos foi verificada a partir dos critérios: (1) apresenta as características gerais da amostra; (2) apresenta metodologia compatível com os objetivos; (3) apresenta descrição do método utilizado para a determinação do limiar; (4) apresenta uso de espirometria ou lactímetro para mensuração do limiar; (5) apresenta a análise estatística utilizada; (6) apresenta conclusão que responda ao objetivo do estudo (ver Tabela 1). Por fim, após a seleção dos artigos potenciais, foi realizada uma tabela descritiva, por ordem alfabética dos autores, contemplando os seguintes elementos: autor, ano de publicação, periódico, objetivo do estudo, descrição da amostra e metodologia (ver Tabela 2).

TABELA 1 – Qualidade metodológica dos artigos selecionados.

Artigos	1	2	3	4	5	6	Total
Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners (BALDUCCI <i>et al.</i> , 2016)	x	x	x	x	x	x	6
Superior Endurance Performance in Aging Mountain Runners (BURTSCHER <i>et al.</i> , 2008)	x	x	x	x	x		5
Race performance and exercise intensity of male amateur mountain runners during a multistage mountain marathon competition are not dependent on muscle strength loss or cardiorespiratory fitness (GATTERER <i>et al.</i> , 2013)	x	x	x	x	x	x	6
“Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997)		x	x	x	x	x	5

Nota: * artigos que obtiveram pontuação máxima (quatro pontos) em relação aos critérios de qualidade: (1) apresenta as características gerais da amostra; (2) apresenta metodologia compatível com os objetivos; (3) apresenta descrição do método utilizado para a determinação do limiar; (4) apresenta uso de espirometria ou lactímetro para mensuração do limiar; (5) apresenta a análise estatística utilizada; (6) apresenta conclusão que responda ao objetivo do estudo.

RESULTADOS

Características das amostras

Todos os artigos analisados utilizaram como amostra indivíduos corredores de montanhas profissionais de alto rendimento (BALDUCCI *et al.*, 2016; BURTSCHER *et al.*, 2008; LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997) e, apenas um utilizou atletas amadores (GATTERER *et al.*, 2013). Do total de artigos analisados, dois estudos avaliaram corredores do sexo masculino (BALDUCCI *et al.*, 2016; GATTERER *et al.*, 2013), totalizando em uma amostra de dez e 16 indivíduos, respectivamente. Enquanto os outros dois estudos tiveram como amostra ambos os sexos, com um total de dez (7 homens e 3 mulheres) (BURTSCHER *et al.*, 2008) e 39 indivíduos (27 homens e 12 mulheres) (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997).

Os estudos de Balducci *et al.* (2016), Burtscher *et al.* (2008) e Gatterer *et al.* (2013) relataram a idade média e desvio padrão dos corredores ($38,5 \pm 6,4$ anos; $45,9 \pm 8,5$ anos; 41 ± 8 anos; respectivamente). Já o estudo de Levine; Stray-Gundersen (1997) relata apenas a faixa etária para a seleção da amostra (18 – 31 anos). Com base nestes dados, 100% dos estudos contemplaram adultos jovens e

médios (19 a 60 anos), de acordo com a classificação etária proposta por Havighurst; Levine (1979).

Objetivos propostos

Quanto aos objetivos analisados nos estudos, pode-se observar propostas variadas, nas quais buscaram investigar o desempenho físico e/ou cardiorrespiratório em testes de laboratório associados à competição (BURTSCHER *et al.*, 2008; GATTERER *et al.*, 2013) ou à testes que se aproximam da realidade vivida na corrida (BALDUCCI *et al.*, 2016), bem como o efeito da aclimatização e treinamento em diferentes altitudes no desempenho de corredores (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997).

O estudo de Balducci *et al.* (2016) buscou investigar se o VO_2 máx. e o custo de energia mensurados na corrida em subida e na corrida sem inclinação são associados e, se realmente, testes sem inclinação são capazes de predizer o desempenho em corridas, caracterizadas por trechos em ascensão. Já Burtscher *et al.* (2008) investigaram a possível relação entre os valores individuais de VO_2 no limiar anaeróbio e os tempos de corridas durante uma competição. Gatterer *et al.* (2013) optaram por verificar se o desempenho e a intensidade da corrida são influenciados pela FC, perda de força muscular (avaliada através do salto contra movimento) e/ou aptidão cardiorrespiratória (avaliada através do VO_2 máx. e Lan). E Levine; Stray-Gundersen (1997) testaram a hipótese de que viver em altitude moderada e treinar em baixa altitude melhora o desempenho ao nível do mar em corredores bem treinados.

Metodologias de identificação dos limiares

Pode-se verificar que todos os estudos utilizaram a espirometria para a identificação do Lan, *i.e.*, o LV. Gatterer *et al.* (2013) foram os únicos a identificarem os dois LT, sendo o LV equivalente ao primeiro limiar e o ponto de compensação respiratória correspondente ao segundo limiar.

A segmentação das curvas de diferentes parâmetros ventilatórios é realizada para a identificação dos LV e o método visual é comumente utilizado. Balducci *et al.* (2016) e Gatterer *et al.* (2013) utilizaram o método proposto por Wasserman *et al.*

(1973) e Wasserman *et al.* (1987), respectivamente. Este método consiste no aumento não linear da VE, em combinação com um aumento do $VE \cdot VO_2^{-1}$ e $PetO_2$, sem aumento concomitante do $VE \cdot VCO_2^{-1}$ para a determinação do primeiro limiar. O ponto de compensação respiratória, que representa o segundo limiar, corresponde ao aumento do $VE \cdot VO_2^{-1}$ e $VE \cdot VCO_2^{-1}$ e diminuição concomitante da $PetCO_2$.

Burtscher *et al.* (2008) aplicaram o método proposto por Solberg *et al.* (2005), que corresponde ao momento em que os valores de RER se estabilizam acima de 1,0 e não retornam à níveis abaixo deste valor. Enquanto, Levine; Stray-Gundersen (1997) mencionam o limiar como estado de equilíbrio máximo (*maximal steady state*) e aplicaram os critérios de determinação do limiar citado por Anderson; Rhodes (1989), relatando a análise simultânea de múltiplos *plots* de VO_2 vs. VE, VO_2 vs. $VE \cdot VO_2^{-1}$, VO_2 vs. VCO_2 e VO_2 vs. $VE \cdot VCO_2^{-1}$.

Intensidade de identificação dos limiares

A intensidade de ocorrência do LV é expressa em % VO_2 máx. Para todos os estudos, a intensidade média relativa ocorreu próxima a valores de 80 – 90 % VO_2 máx. O estudo de Balducci *et al.* (2016) encontrou valores médios de $90,4 \pm 2,4$ % VO_2 máx.; Burtscher *et al.* (2008) encontraram valores próximos a 82 % VO_2 máx. (73 – 90 %); Gatterer *et al.* (2013) identificaram o limiar em intensidades próximas a 90 % VO_2 máx.; enquanto Levine; Stray-Gundersen (1997) relataram valores próximos a 80 % VO_2 máx.

Resultados da qualidade metodológica

Em relação a apresentação das características das amostras (critério 1), somente três estudos (BALDUCCI *et al.*, 2016; BURTSCHER *et al.*, 2008; GATTERER *et al.*, 2013) contemplaram este preceito, por apresentarem características de idade, estatura e massa corporal dos indivíduos de suas amostras. Todos os estudos contemplaram os critérios de apresentação da metodologia compatível com os objetivos (2); apresentação da descrição do método utilizado para a determinação do limiar (3); apresentação do uso de espirometria ou lactímetro para a mensuração do limiar (4) e apresentação da estatística utilizada

(5). No entanto, somente os estudos de Balducci *et al.* (2016), Gatterer *et al.* (2013) e Levine; Stray-Gundersen (1997) contemplaram o critério de apresentação de uma conclusão que respondesse ao objetivo do estudo (6). O artigo de Burtscher *et al.* (2008), embora corresponda ao objetivo do estudo, não apresentou uma conclusão final clara de seus resultados.

TABELA 2 – Objetivos e metodologias dos artigos selecionados.

Autor (ano)	Periódico publicado	Objetivo do estudo	Descrição da amostra	Metodologia utilizada para determinação do limiar
Balducci et al. (2016)	Journal of Sports Science and Medicine	Determinar se o desempenho de corrida em subida pode ser previsto, com base em testes de esteira em nível ou se é necessário um teste de subida para prever o desempenho em um grupo homogêneo de corredores de resistência de montanha de alto nível de treinamento.	10 corredores de montanhas de alto nível, do sexo masculino, participaram do estudo (idade $38,5 \pm 6,4$ anos; altura $1,77 \pm 0,08$ m; e massa corporal $69,8 \pm 8,6$ kg; VO_2 $63,3 \pm 3,9$ ml/min/kg).	O LV foi determinado pelo método visual de Wasserman <i>et al.</i> (1973).
Burtscher et al. (2008)	International Journal of Experimental, Clinical, Behavioural and Technological Gerontology	Investigar a relação entre os valores individuais de VO_2 no limiar anaeróbio e os tempos de corridas em corredores de montanhas.	10 corredores (7 homens e 3 mulheres) de montanhas participaram do estudo (idade $45,9 \pm 8,5$ anos; altura $176,5 \pm 7,5$ cm; massa corporal $64,5 \pm 7,9$ kg; VO_2 4.06 ± 0.41 l/min).	O limiar anaeróbio foi definido como o momento em que os valores da razão de troca respiratória se estabilizaram acima de 1,0 e não retornaram à níveis abaixo deste valor.
Gatterer et al. (2013)	Journal of Strength and Conditioning Research	Quantificar o nível de aptidão cardiorrespiratória, indicadora de intensidade de exercício, de corredores de montanha amadores e caracterizar a associação da aptidão cardiorrespiratória e função muscular (potência de membros inferiores durante uma competição).	16 corredores de montanhas amadores, do sexo masculino, participaram do estudo (idade 41 ± 8 anos; altura 178 ± 4 cm; massa corporal $73 \pm 5,3$ kg; VO_2 67.8 ± 6.9 ml/min/kg).	O LV foi determinado pelo aumento não linear da VE em combinação com um aumento do $VE.VO_2^{-1}$ e $PetO_2$, sem um aumento concomitante do $VE.VCO_2^{-1}$. O ponto de compensação respiratória foi determinado pelo aumento da $VE.VO_2^{-1}$ e $VE.VCO_2^{-1}$ e diminuição concomitante da $PetCO_2$.
Levine; Stray-Gundersen (1997)	Journal Applied Physiology	Testar a hipótese de que a aclimatização em altitude moderada (2.500 m), adicionado ao treinamento em baixa altitude (1.250 m), "viver alto-treinar baixo" melhora o desempenho ao nível do mar em corredores bem treinados mais do que a altitude ao nível do mar ou um grupo controle em altitude.	39 corredores de distância (27 homens e 12 mulheres) completaram todas as sessões de testes e treinamento (idade 18 – 31 anos).	O LV (ou estado de equilíbrio máximo) para todos os testes foi determinado pelo critério citado por Anderson; Rhodes (1989), reportando uma análise simultânea de múltiplos <i>plots</i> de VO_2 vs. VE, VO_2 vs. $VE.VO_2^{-1}$, VO_2 vs. VCO_2 e VO_2 vs. $VE.VCO_2^{-1}$.

DISCUSSÃO

Os resultados dos estudos analisados evidenciam o uso limitado de metodologias na identificação dos LT, com predominância em abordagens envolvendo o LV, possivelmente por esta ser uma medida eficaz, validada e muito utilizada na literatura vigente. Este método possibilita a medida de parâmetros ventilatórios fundamentais para a avaliação e prescrição de treinamento em corredores de montanhas (PIRES *et al.*, 2005; REYBROUCK *et al.*, 1986).

Nos artigos revisados, houve predominância de atletas de alto rendimento (75%) e em situações de competição, cuja exposição envolve processos do meio físico altamente exaustivos e que requerem uma maior demanda fisiológica e/ou psicológica do atleta (ESTEVE-LANAO; LUCIA; FOSTER, 2008; VITIELLO *et al.*, 2015). A maioria dos estudos abordou atletas com idades próximas a 40 anos, possivelmente por ser a classificação etária predominante para esta modalidade, como relatado em estudos anteriores (HOFFMAN; FOGARD, 2012; HOFFMAN *et al.*, 2010; HOFFMAN; WEGELIN, 2009).

Constatou-se também a predominância de amostras do sexo masculino. Todos os estudos abordaram este gênero e, apesar dos estudos de Burtcher *et al.* (2008) e Levine; Stray-Gundersen (1997) selecionarem amostras mistas, percebe-se que as mulheres representam uma pequena parcela dos participantes. O fato pode ser justificado pela inferioridade no número de mulheres em relação aos homens, na adesão de corridas em montanhas e, há pouco tempo, passou a ser foco de pesquisas no cenário desportivo (DEVIDE *et al.*, 2011). No entanto, este número vem aumentando (HOFFMAN, 2008b) e as mulheres representaram cerca de 20% dos participantes nos últimos anos (HOFFMAN *et al.*, 2010; HOFFMAN; WEGELIN, 2009).

Embora os objetivos dos estudos foram verificar fatores que possivelmente influenciam no desempenho e sua avaliação, percebe-se uma lacuna em investigações que envolvam uma linha de pesquisa específica. Conforme já mencionado, os LT são importantes para a avaliação e prescrição do treinamento (BENTLEY *et al.*, 2001; FAUDE *et al.*, 2009; SVEDAHL; MACINTOSH, 2003), sua associação com o desempenho em atletas de *endurance* já foi comprovada em estudos anteriores (BURTSCHER *et al.*, 2008; FARRELL *et al.*, 1979; FAUDE *et al.*, 2009) e, por esta razão, devem ser abordados em metodologias de estudo.

Burtscher *et al.* (2008) foram os únicos a utilizarem o VO_2LT como objeto principal da pesquisa e afirmam que esta variável determina quase completamente o desempenho em corredores de montanhas.

O uso do método ventilatório, por inspeção visual, para a identificação dos LT foi mencionado em 100% dos estudos analisados. No entanto, percebe-se a falta de padronização para a metodologia utilizada, o que dificulta a comparação dos resultados. Os métodos visuais propostos por Wasserman *et al.* (1973) e Wasserman *et al.* (1987) foram mencionados nos estudos de Balducci *et al.* (2016) e Gatterer *et al.* (2013), respectivamente; enquanto outras metodologias (ANDERSON; RHODES, 1989; SOLBERG *et al.*, 2005) foram optadas por Burtscher *et al.* (2008) e Levine; Stray-Gundersen (1997), respectivamente.

Outras metodologias de identificação dos LT também podem ser abordadas de forma alternativa e, podem se apresentar bastante eficazes para esta modalidade. Por exemplo, Gatterer *et al.* (2013) apontam que, parâmetros de aptidão cardiorrespiratória avaliados em testes laboratoriais (e.g. $\text{VO}_{2\text{máx.}}$, LV) não são suficientes para determinar o desempenho em maratonas de montanhas, sugerindo que, fatores como a experiência prévia para lidar com a dor e regular o esforço, bem como a auto avaliação, além de auxiliar no controle da intensidade do exercício, podem influenciar de forma substancial o desempenho na corrida (ESTEVE-LANAO *et al.*, 2008; GATTERER *et al.*, 2013). Esta colocação abre margens para investigações futuras que envolvam abordagens alternativas para a identificação do limiar, com medidas de mensuração eficazes, menos dispendiosas e não invasivas, que abordem também fatores psicofísicos, *i.e.*, fisiológicos e psicológicos, fundamentais em atletas corredores de montanhas.

Por fim, no que se refere às limitações dos artigos revisados, destacam-se (a) o número reduzido de participantes que compuseram a amostra das pesquisas (BALDUCCI *et al.*, 2016; BURTSCHER *et al.*, 2008; GATTERER *et al.*, 2013); (b) a utilização quase exclusiva de participantes do sexo masculino; (c) carência de investigações que envolvam uma linha de pesquisa específica; (d) ausência de outros parâmetros de identificação dos LT (e.g., lactato, frequência cardíaca); bem como a (e) padronização e clareza dos protocolos mencionados para tal função.

No presente estudo de revisão, a limitação do uso de novas abordagens para a determinação dos LT e, a carência de investigações para esta linha de pesquisa específica, foram as principais limitações que dificultaram a comparação

dos resultados obtidos. Estas abordagens alternativas carecem de maiores investigações acerca da relação entre os limiares metabólicos e perceptuais em corredores de montanhas, cujas provas expõem o corpo do atleta a inúmeras condições ambientais, como variações de terrenos, temperaturas e altitudes (KUPCHAK *et al.*, 2014), que podem ser responsáveis por fatores altamente exaustivos, que alteram processos fisiológicos e psicológicos no organismo do atleta (VITIELLO *et al.*, 2015) e, desta forma, a intensidade de ocorrência dos LT e regulação do esforço.

Neste sentido, fica clara a necessidade de se ampliar as pesquisas com os LT em corredores de montanhas, bem como medidas claras e abordagens alternativas que esclareçam todos os procedimentos utilizados, bem como sua eficácia para este grupo específico de atletas.

CONCLUSÃO

Há uma lacuna de estudos que abordem a identificação dos LT para a avaliação e prescrição de treinamento, bem como a utilização de métodos alternativos eficazes, simples e de baixo custo operacional para a determinação destes limiares em atletas corredores de montanhas. A importância do uso dos limiares de transição para a avaliação de atletas de resistência é justificada pela associação destes com o desempenho e ainda, a modalidade em montanhas expõe o corpo do atleta a inúmeras condições ambientais e estresse fisiológico, capazes de alterar a intensidade de ocorrência dos LT, sendo então necessária maiores investigações, para uma prescrição de treinamento precisa e segura.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, G.; RHODES, E. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Medicine*, v. 8, n. 1, p. 43-55, 1989.

BALDUCCI, P.; CLÉMENÇON, M.; MOREL, B.; QUINIOU, G.; SABOUL, D.; HAUTIER, C. A. Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners. *Journal of sports science & medicine*, v. 15, n. 2, p. 239, 2016.

BENTLEY, D. J.; MCNAUGHTON, L. R.; THOMPSON, D.; VLECK, V. E.; BATTERHAM, A. M. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Medicine and Science in Sports and exercise*, v. 33, n. 12, p. 2077-2081, 2001.

BURTSCHER, M.; FÖRSTER, H.; BURTSCHER, J. Superior endurance performance in aging mountain runners. *Gerontology*, v. 54, n. 5, p. 268-271, 2008.

CARLSOHN, A.; MÜLLER, W. Anthropometry and Dietary Intake before and during a Competition in Mountain Runners. *Journal of nutrition and metabolism*, v. 2014, 2014.

DEVIDE, F. P.; OSBORNE, R.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. C.; CLAIR, E. S.; NERY, L. C. P. Estudos de gênero na educação física brasileira. *Motriz*, Rio Claro, v. 17, n. 1, p. 93-103, 2011.

DI PRAMPERO, P.; ATCHOU, G.; BRÜCKNER, J.-C.; MOIA, C. The energetics of endurance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 55, n. 3, p. 259-266, 1986.

ESTEVE-LANAO, J.; LUCIA, A.; FOSTER, C. How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? *PLoS One*, v. 3, n. 8, p. e2943, 2008.

FARRELL, P. A.; WILMORE, J. H.; COYLE, E. F.; BILLING, J. E.; COSTILL, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*, v. 11, n. 4, p. 338-44, 1979.

FAUDE, O.; KINDERMANN, W.; MEYER, T. Lactate threshold concepts. *Sports medicine*, v. 39, n. 6, p. 469-490, 2009.

GATTERER, H.; SCHENK, K.; WILLE, M.; RASCHNER, C.; FAULHABER, M.; FERRARI, M.; BURTSCHER, M. Race performance and exercise intensity of male amateur mountain runners during a multistage mountain marathon competition are not dependent on muscle strength loss or cardiorespiratory fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 27, n. 8, p. 2149-2156, 2013.

HOFFMAN, M. D. Anthropometric characteristics of ultramarathoners. *International journal of sports medicine*, v. 29, n. 10, p. 808-811, 2008a.

_____. Ultramarathon trail running comparison of performance-matched men and women. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 40, n. 9, p. 1681-1686, 2008b.

HOFFMAN, M. D.; FOGARD, K. Demographic characteristics of 161-km ultramarathon runners. *Research in Sports Medicine*, v. 20, n. 1, p. 59-69, 2012.

HOFFMAN, M. D.; INGWERSON, J. L.; ROGERS, I. R.; HEW-BUTLER, T.; STUEMPFLE, K. J. Increasing creatine kinase concentrations at the 161-km Western

States Endurance Run. *Wilderness & environmental medicine*, v. 23, n. 1, p. 56-60, 2012.

HOFFMAN, M. D.; ONG, J. C.; WANG, G. Historical analysis of participation in 161 km ultramarathons in North America. *The International journal of the history of sport*, v. 27, n. 11, p. 1877-1891, 2010.

HOFFMAN, M. D.; WEGELIN, J. A. The Western States 100-mile endurance run: participation and performance trends. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 41, n. 12, p. 2191, 2009.

KNECHTLE, B.; KNECHTLE, P.; ROSEMAN, T. Race performance in male mountain ultra-marathoners: anthropometry or training? Perceptual and motor skills, v. 110, n. 3, p. 721-735, 2010.

KRUSEMAN, M.; BUCHER, S.; BOVARD, M.; KAYSER, B.; BOVIER, P. A. Nutrient intake and performance during a mountain marathon: an observational study. *European journal of applied physiology*, v. 94, n. 1-2, p. 151-157, 2005.

KUPCHAK, B. R.; KRAEMER, W. J.; HOFFMAN, M. D.; PHINNEY, S. D.; VOLEK, J. S. The impact of an ultramarathon on hormonal and biochemical parameters in men. *Wilderness & environmental medicine*, v. 25, n. 3, p. 278-288, 2014.

LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*, v. 83, n. 1, p. 102-112, 1997.

MILLET, G. Y. Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons? *Sports medicine*, v. 41, n. 6, p. 489-506, 2011.

OLIVER, S. J.; GOLJA, P.; MACDONALD, J. H. Carbohydrate supplementation and exercise performance at high altitude: a randomized controlled trial. *High altitude medicine & biology*, v. 13, n. 1, p. 22-31, 2012.

PIRES, F. D. O.; LIMA-SILVA, A. E.; DE OLIVEIRA, F. R. Diferenças entre variáveis de identificação dos limiares ventilatórios. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho. Hum*, v. 7, n. 2, p. 20-28, 2005.

REYBROUCK, T.; GHESQUIERE, J.; WEYMANS, M.; AMERY, A. Ventilatory threshold measurement to evaluate maximal endurance performance. *International journal of sports medicine*, v. 7, n. 01, p. 26-29, 1986.

SOLBERG, G.; ROBSTAD, B.; SKJONSBORG, O.; BORCHSENIUS, F. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sports Sci Med*, v. 4, n. 1, p. 29-36, 2005.

SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B. R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 28, n. 2, p. 299-323, 2003.

VITIELLO, D.; DEGACHE, F.; SAUGY, J. J.; PLACE, N.; SCHENA, F.; MILLET, G. P. The increase in hydric volume is associated to contractile impairment in the calf after the world's most extreme mountain ultra-marathon. *Extreme physiology & medicine*, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.

WASSERMAN, K.; HANSEN, J. E.; SUE, D. Y.; WHIPP, B. J.; FROELICHER, V. F. Principles of exercise testing and interpretation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, v. 7, n. 4, p. 189, 1987.

WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J.; KOYL, S.; BEAVER, W. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of applied physiology*, v. 35, n. 2, p. 236-243, 1973.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERÍSTICA DA PESQUISA

Trata-se de um estudo com delineamento descritivo correlacional, com a intenção de identificar o limiar de transição (variável dependente) durante exercício progressivo máximo em atletas de corridas de montanhas (variável independente). A identificação dos limiares de transição fisiológica está relacionada aos atletas de *endurance*, por ser um método de avaliação de *performance* e aptidão física dos mesmos, bem como uma importante ferramenta para prescrição de treinamento esportivo (THOMAS; NELSON; SILVERMAN, 2009).

5.2 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no laboratório do Centro de Estudos da Performance Física (CEPEFIS), bem como no laboratório do Centro de Pesquisa em Exercício e Esporte (CEPEE), localizados no Departamento de Educação Física, da Universidade Federal do Paraná | Rua Coração de Maria, 92 | CEP 80210-132 | Campus Jardim Botânico | Curitiba, PR | Brasil.

5.3 CARACTERÍSTICA DA AMOSTRA

A determinação do tamanho amostral foi calculada por meio do *software* GPower®, através da mensuração do tamanho de efeito a partir da escala de magnitudes para diferenças das médias (COHEN, 1988), de acordo com o estudo de Ferreira *et al.* (2015), que analisou os valores de PSE no DmáxPSE e no LL em atletas de *endurance* após teste incremental em esteira (escores da PSE: DmáxPSE 31 ± 13 vs. LL 48 ± 18), no qual foi observado um tamanho de efeito de 1.05. Adotou-se então um alfa de 0.05 e um poder estatístico de 0.95. Dessa forma, o

tamanho da amostra desejável para obtenção de resultado significativo foi de 12 indivíduos. Por esta razão, foram convidados a participarem do estudo 12 indivíduos, por amostragem intencional.

O estudo possui aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos local, credenciado pelo Conselho Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP, com número do parecer 1.844.721. Cada participante foi informado sobre os procedimentos e riscos a que seriam submetidos, e foram conduzidos de acordo com os procedimentos éticos propostos pela Declaração de Helsinki (2009). Em seguida, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE (Apêndice), de acordo com a resolução nº 466/2012, concordando com a participação voluntária no estudo.

5.3.1 Critérios de Inclusão e Exclusão

Os critérios de inclusão da pesquisa envolveram: (1) indivíduos do sexo masculino; (2) corredores experientes em corridas de montanhas; (3) os participantes deveriam estar treinando há, no mínimo, três anos, cinco vezes por semana, com volume semanal de, no mínimo, dez horas de treinamento; (4) não deveriam conter históricos de lesões musculoesqueléticas e/ou ortopédicas; e (5) não possuírem patologias cardiorrespiratórias.

Como critérios de exclusão foram adotados: (1) indivíduos do sexo feminino; (2) não corredores experientes em corridas de montanhas; (3) não estivessem treinando há, no mínimo, três anos, cinco vezes por semana, com volume semanal de, no mínimo, dez horas de treinamento; (4) que continham históricos de lesões musculoesqueléticas e/ou ortopédicas recentes; e (5) possuísem patologias cardiorrespiratórias.

5.4 DESENHO EXPERIMENTAL

Os indivíduos selecionados participaram de um estudo transversal em laboratório, que consistiu na realização de um teste incremental máximo em esteira

ergométrica para a identificação do Lan. Durante o teste, foram registradas as trocas gasosas da respiração, bem como a PSE e a FC ao final de cada estágio do protocolo.

Anteriormente ao teste, os participantes foram submetidos à avaliação antropométrica – mensuração da massa corporal, estatura e percentual de gordura – para a caracterização da amostra. Em adição, foram orientados a consumirem refeições leves até duas horas antecedentes ao exercício, não ingerirem bebidas alcoólicas e/ou a base de cafeína, evitarem atividades físicas vigorosas e registrarem o consumo alimentar nas 24 horas antecedentes ao teste.

5.5 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS E AVALIAÇÕES E FONTES DOS MATERIAIS DE PESQUISA

5.5.1 Avaliação Antropométrica

Anteriormente à execução do teste e, para a caracterização da amostra, foram coletadas a massa corporal e estatura através de uma balança da marca Toledo® e estadiômetro da marca Sanny®. As dobras cutâneas – subescapular, tricipital, supra ilíaca e abdominal – foram mensuradas através do compasso Harpenden®, sendo a densidade calculada a partir do protocolo proposto por Jackson; Pollock (1978) para atletas e, o percentual de gordura (%G) pelo protocolo proposto por Siri (1961), respectivamente:

$$D = 1.112 - (0.00043499 \times \Sigma(SB, TR, PT, AXM, SI, AB, CXM)) + (0.00000055 \times \Sigma(SB, TR, PT, AXM, SI, AB, CXM) \times \Sigma(SB, TR, PT, AXM, SI, AB, CXM)) - (0.00028826 \times \text{idade}) \quad (1)$$

Onde, D é densidade, Σ é soma das dobras SB (subescapular), TR (tricipital), PT (peitoral), AXM (axilar média), SI (supra ilíaca), AB (abdominal), CXM (coxa medial) e a idade deve ser em anos.

$$\%G = (4.95/D) - 4.5) \times 100 \quad (2)$$

Onde, %G é percentual de gordura e D é a densidade calculada através da fórmula anterior.

5.5.2 Protocolo do Teste Incremental Máximo

Os indivíduos foram submetidos a um teste máximo com cargas incrementais em esteira ergométrica multiprogramável (Inbramed, Modelo Super ATL, Inbrasport®). Foi aplicado o protocolo adaptado, proposto por Cottin *et al.* (2007) que consiste em uma velocidade inicial de 8 km.h⁻¹, com incrementos de 1 km.h⁻¹ a cada estágio de um minuto. O teste foi conduzido até a exaustão, para a obtenção da velocidade e VO₂ máximos, bem como a obtenção das curvas das variáveis ventilatórias, hemodinâmicas e perceptuais. Todos os participantes foram verbalmente estimulados a continuar o exercício até o alcance de dois, dos três critérios estabelecidos para a identificação do VO₂ máx.: (1) platô do VO₂ (alterações < 150 ml.min⁻¹) e (2) relação de troca respiratória (RER) ≥ 1.10, controlados por um espirômetro (PowerLab 4/30, ADInstruments®, Bella Vista, Australia); e (3) FC de ± 10 batim.min⁻¹ em relação à FC máx. predita pela idade (220 – Idade), controlada por um cardiofrequencímetro (Polar® FT1). Para o último estágio incompleto, será realizado o ajuste da velocidade máxima, através da equação, proposta por Kuipers *et al.* (1985):

$$PV = V + (t/T) \times \Delta V \quad (2)$$

Onde, PV é pico de velocidade, V é velocidade do último estágio completo, t é o tempo (s) do estágio parcialmente completo, T é o tempo (s) do estágio completo e ΔV é o valor do incremento de velocidade por estágio.

5.5.3 Determinação dos Limiares de Transição Fisiológica

5.5.3.1 Limiar Ventilatório

Um analisador de gases (PowerLab 4/30, ADInstruments®, Bella Vista, Australia) foi utilizado para mensurar a VE, VO_2 , VCO_2 , RER, $\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$ e $\text{VE} \cdot \text{VCO}_2^{-1}$. Os gases expirados respiração a respiração, foram coletados e analisados, a partir de um conjunto de dados fornecidos a cada dez segundos (GASKILL *et al.*, 2001), usando a espirometria de circuito aberto. Anteriormente ao teste, o analisador foi calibrado através de uma amostra de gás conhecido. Alguns critérios para a determinação do Lan foram empregados, de acordo com os métodos de Wasserman; Mcilroy (1964) e Beaver *et al.* (1986), que parecem ser consistentes quanto à confiabilidade e validade (AMANN *et al.*, 2004). Sendo assim, foi empregado o aumento da $\text{VE} \cdot \text{VO}_2^{-1}$ juntamente ao aumento do $\text{VE} \cdot \text{CO}_2^{-1}$ (COTTIN *et al.*, 2007). Os dados foram analisados no *software* LabChart 8 Pro, ADInstruments®.

5.5.3.2 Limiar de Percepção Subjetiva de Esforço

A PSE foi mensurada por meio da Escala CR-10 de (BORG, G. A., 1982) (Anexo), através da seguinte pergunta: “Qual a sua sensação em relação ao seu esforço?”. Houve, anteriormente ao teste, uma familiarização dos indivíduos com a escala, instruindo-os a seguirem as ancoragens propostas pelo protocolo. Os participantes responderam em relação ao seu esforço percebido a cada estágio durante a realização do teste. A determinação do DmáxPSE seguiu o modelo proposto por Fabre *et al.* (2013). Os pontos gerados pela relação entre os escores da PSE vs. a intensidade foram plotados em um gráfico. Sendo assim, foi realizado um ajuste linear que liga os pontos extremos da curva e um ajuste polinomial de 3ª ordem ligando todos os pontos da curva. O DmáxPSE refere-se à maior diferença (Dmáx.) observada entre os dois ajustes. A reprodutibilidade do método se faz pelos diferentes estudos que o utilizaram e que foram citados no referencial teórico da

presente pesquisa (CONDE *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2015; FERREIRA *et al.*, 2014).

5.5.3.3 Ponto de Deflexão da Frequência Cardíaca

Para o registro da FC, foi utilizado um monitor cardíaco Polar® FT1 (Polar® Electro Oy, Kempele, Finlândia) preso ao tórax, paralelamente à linha imaginária traçada sob o apêndice xifoide, durante os momentos de repouso, teste e pós-teste. Os indivíduos permaneceram em decúbito dorsal, durante dez minutos, para o registro da FC em repouso. Durante todo o teste incremental, a FC foi monitorada e, registrada ao final de cada estágio. Ao final do teste, os indivíduos permaneceram em decúbito dorsal, para a observação durante toda a recuperação. A determinação do PDFC foi proposta por Kara *et al.* (1996), aplicando-se o método $D_{máx}$. Os valores de FC iguais e superiores a 140 batim.min⁻¹ foram plotados em um gráfico, em função da intensidade. Um ajuste linear que liga os pontos extremos da curva e um ajuste polinomial de 3ª ordem ligando todos os pontos da curva foi realizado. A maior diferença observada entre os dois ajustes, foi considerado o PDFC.

5.6 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

A normalidade dos dados foi analisada através do teste Shapiro-Wilk. As variáveis foram expressas em média \pm desvio padrão. Para a comparação dos dados identificados no Lan foi utilizado o teste de análise de variância de uma via (ANOVA *one-way*) e o seu correspondente para amostras não paramétricas Kruskal-Wallis. Foi utilizado o teste *post hoc* de Tukey e o teste U de Mann-Whitney para identificar as diferenças encontradas. Para dados paramétricos, a análise da relação entre os métodos de identificação dos limiares foi feita através da correlação simples de Pearson e, para dados não paramétricos, o teste de correlação de Sperman. Os gráficos de Bland-Altman (1983) foram utilizados para comparar a concordância entre as medidas que apresentaram correlação significativa. A diferença entre os valores medidos a partir de dois métodos foi traçada no eixo y em função das suas

médias, no eixo x. O limite de concordância envolveu a média das diferenças de dois métodos ± 1.96 DP. Em todas as análises, a significância foi aceita quando $p < .05$ e, o *software* utilizado foi o IBM® SPSS® Statistics, versão 20.0 (Nova Iorque, Estados Unidos).

6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abordagens alternativas para a identificação do Lan vêm sendo amplamente estudadas, com a intenção de facilitar as rotinas de avaliação de desempenho fisiológico em atletas. Neste contexto, o Lan identificado por valores de PSE, bem como pela FC, mais especificamente, D_{máx}PSE e PDFC, têm sido alvos de recentes estudos. Sendo assim, o objetivo do presente estudo propôs contribuir com informações a respeito da utilização destes métodos alternativos na determinação do Lan em corredores de montanhas. À luz do conhecimento, este é o primeiro estudo que aborda estes conceitos nesta população.

Os principais resultados deste estudo estão apresentados em tabelas ou figuras. Os resultados referentes às características dos sujeitos, bem como aos resultados do teste incremental máximo estão expostos na Tabela 3. Os valores de velocidade máxima e VO₂ máx. alcançados durante o teste foram $19.50 \pm 1.51 \text{ km.h}^{-1}$ e $68.49 \pm 5.03 \text{ ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, respectivamente.

TABELA 3 – Características gerais da amostra e valores obtidos no final do teste incremental máximo (n = 12).

Idade, anos	Estatutura, cm	Massa corporal, kg	Gordura corporal, %	Velocidade máx., km.h ⁻¹	FC máx., batim.min ⁻¹	VO ₂ máx., ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹
34.08 ± 6.68	176.71 ± 7.76	73.65 ± 9.16	11.94 ± 3.68	19.50 ± 1.51	178.58 ± 9.14	68.49 ± 5.03

Nota: Valores expressos em média \pm desvio padrão.

Carlsohn; Müller (2014) ao avaliarem as características antropométricas de corredores de montanhas de elite e recreacionais, também encontraram uma baixa massa corporal em membros de uma equipe nacional alemã, bem como o VO₂ máx. de $68.7 \pm 5.2 \text{ ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, valores que se aproximam aos reportados no presente estudo (ver Tabela 3) e aos de corredores de distância de elite (HOFFMAN; FOGARD, 2012). Estes resultados também corroboram com os estudos de Balducci *et al.* (2016), Burtcher *et al.* (2008) e Gatterer *et al.* (2013), que relataram uma intensidade média relativa próxima a valores de 80 – 90 %VO₂ máx (ver Tabela 4).

Na Tabela 4, estão descritos os principais dados de desempenho, fisiológicos e psicológicos observados no Lan, identificados pelos diferentes métodos – LV, DmáxPSE, PSE 5.8 fixo e PDFC. Foram observadas diferenças significativas entre o LV, DmáxPSE e PDFC em relação à PSE 5.8 fixo ($p < .05$) para as variáveis de intensidade e % intensidade; DmáxPSE em relação à PSE 5.8 fixo, para o % VO_2 ($p < .05$); e, LV e DmáxPSE em relação à PSE 5.8 fixo ($p < .05$), para o % FC.

TABELA 4 – Principais dados de desempenho, fisiológicos e psicológicos observados no Lan e identificados pelos diferentes métodos.

	LV	DmáxPSE	PSE 5.8 fixo	PDFC
Intens. , km.h ⁻¹ (n = 12)	15.58 ± 0.90*	15.01 ± 1.41*	17.02 ± 1.06	15.61 ± 1.45*
Intens. , % (n = 12)	80.06 ± 2.82*	77.17 ± 7.07*	87.54 ± 5.26	80.15 ± 5.82*
VO₂ , % (n = 10)	85.57 ± 5.49	80.26 ± 9.77*	89.79 ± 6.43	86.45 ± 8.61
FC , batim.min ⁻¹ (n = 12)	162.45 ± 7.07	160.42 ± 9.24	169.17 ± 9.65	162.45 ± 9.20
FC , % (n = 12)	91.10 ± 4.26*	89.67 ± 4.80*	94.81 ± 4.63	91.11 ± 5.62
PSE (n = 12)	4.29 ± 0.75	3.71 ± 1.26	5.8	4.58 ± 1.10

Nota: Valores expressos em média ± desvio padrão. LV – limiar ventilatório; DmáxPSE – limiar da percepção subjetiva de esforço, obtido pelo método Dmáx; PSE 5.8 fixo – percepção subjetiva de esforço fixa no escore de 5.8; PDFC – ponto de deflexão da frequência cardíaca; Intens. – intensidade; VO_2 – consumo de oxigênio; FC – frequência cardíaca; PSE – percepção subjetiva de esforço. *Denota diferença significativa do método PSE 5.8 fixo, $p < .05$.

É importante ressaltar que, muito embora utilizado em estudos de comparações entre métodos, abordagens estatísticas, como a correlação, podem estar sendo empregadas, equivocadamente, para avaliar o grau de acordo. A correlação apresentará uma relação entre uma variável e outra, no entanto, não as suas diferenças (GIAVARINA, 2015), não sendo recomendada a utilização individualmente. Por esta razão, o presente estudo adotou, além da correlação, a confirmação da concordância, através do *plot* de Bland-Altman (1983) (ver Figuras 6, 7, 8, 9 e 10).

As avaliações de esforço percebido mostram-se ser interessantes ferramentas para controle e prescrição de intensidade de exercício, devido à sua relação com indicadores fisiológicos, incluindo [La], FC e VO_2 (BOUTCHER *et al.*,

1989; STEED; GAESSER; WELTMAN, 1994; STOUDEMIRE *et al.*, 1996). Ainda que poucos são os estudos que elucidam a predição do \dot{V}_{O_2} por métodos alternativos e não invasivos, os resultados do presente estudo corroboram com a literatura vigente. Conforme observado aqui e citado por estudos recentes, os métodos DmáxPSE e PDFC vêm sendo sugeridos como bons estimadores de LT (ERDOGAN *et al.*, 2010; FABRE *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2014; IRVING *et al.*, 2006; ZAMUNÉR *et al.*, 2011).

Em relação ao método DmáxPSE, foi possível observar semelhança entre este e o LV ($p > .05$) para todas as variáveis analisadas (ver Tabela 4). Além disso, fortes correlações entre a FC no LV e a FC no DmáxPSE ($r = .79$; $p = .004$) e entre o % FC no LV e o % FC no DmáxPSE ($r = .873$; $p = .000$), bem como baixo viés, indicando boa concordância, puderam ser observados entre eles (ver Figuras 6 e 7). Isto evidencia a utilização dos métodos de forma intercambiável.

Fabre *et al.* (2013) foram os pioneiros, ao proporem a aplicação do método Dmáx nos escores de PSE. O estudo comparou o método DmáxPSE aos valores fixos para a identificação dos limiares de lactato (2 e 4 mmol.l⁻¹); ao método DmáxLa, proposto por Cheng *et al.* (1992); ao ponto de compensação respiratória; e à intensidade correspondente ao RER igual a 1.0, em indivíduos fisicamente ativos, no cicloergômetro. Os resultados suportam, parcialmente, os observados no presente estudo, haja vista que não apontam diferenças significativas ($p > .05$) entre os métodos DmáxPSE e DmáxLa para as variáveis intensidade, \dot{V}_{O_2} e FC, além de forte correlação ($r = .97$) e baixo viés entre os valores de \dot{V}_{O_2} identificados nos dois métodos.

Corroborando, Ferreira *et al.* (2014), avaliaram a manipulação de carboidratos no desempenho, e também não encontraram diferenças entre as variáveis fisiológicas e os escores obtidos no LL e DmáxPSE e, apontam correlação significativa ($r = .75$; $p < .05$) para a intensidade de ocorrência em ambos os métodos, no grupo “dieta controle”.

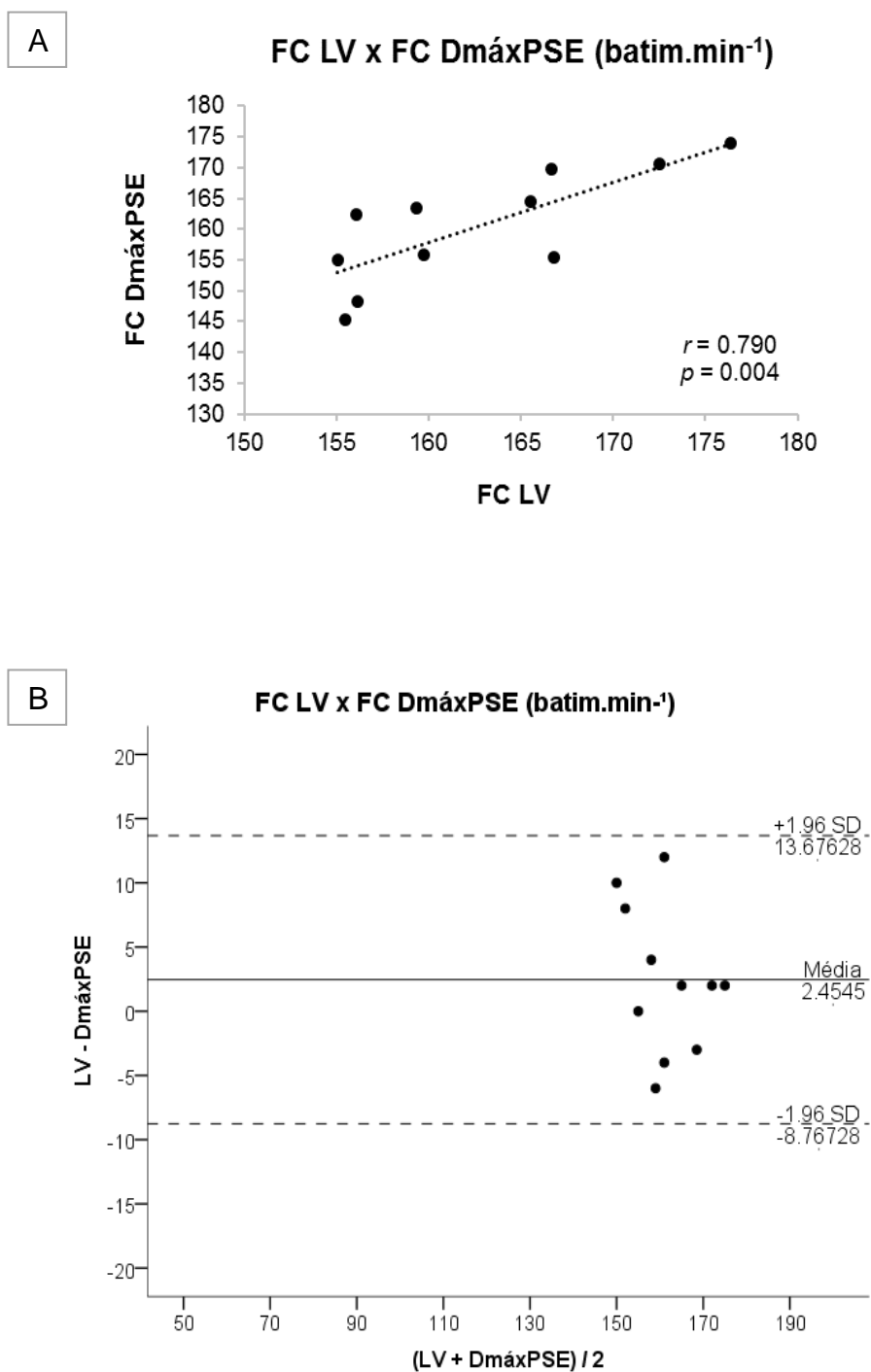


FIGURA 6. Análises entre a FC (batim.min⁻¹) nos limiares determinados pelos métodos LV e DmáxPSE. (A) Correlação forte e significativa entre a FC no LV e a FC no DmáxPSE. (B) Análise de concordância, representada pelo *plot* de Bland-Altman (1983), com a linha contínua representando a média das diferenças (viés) entre os dois métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

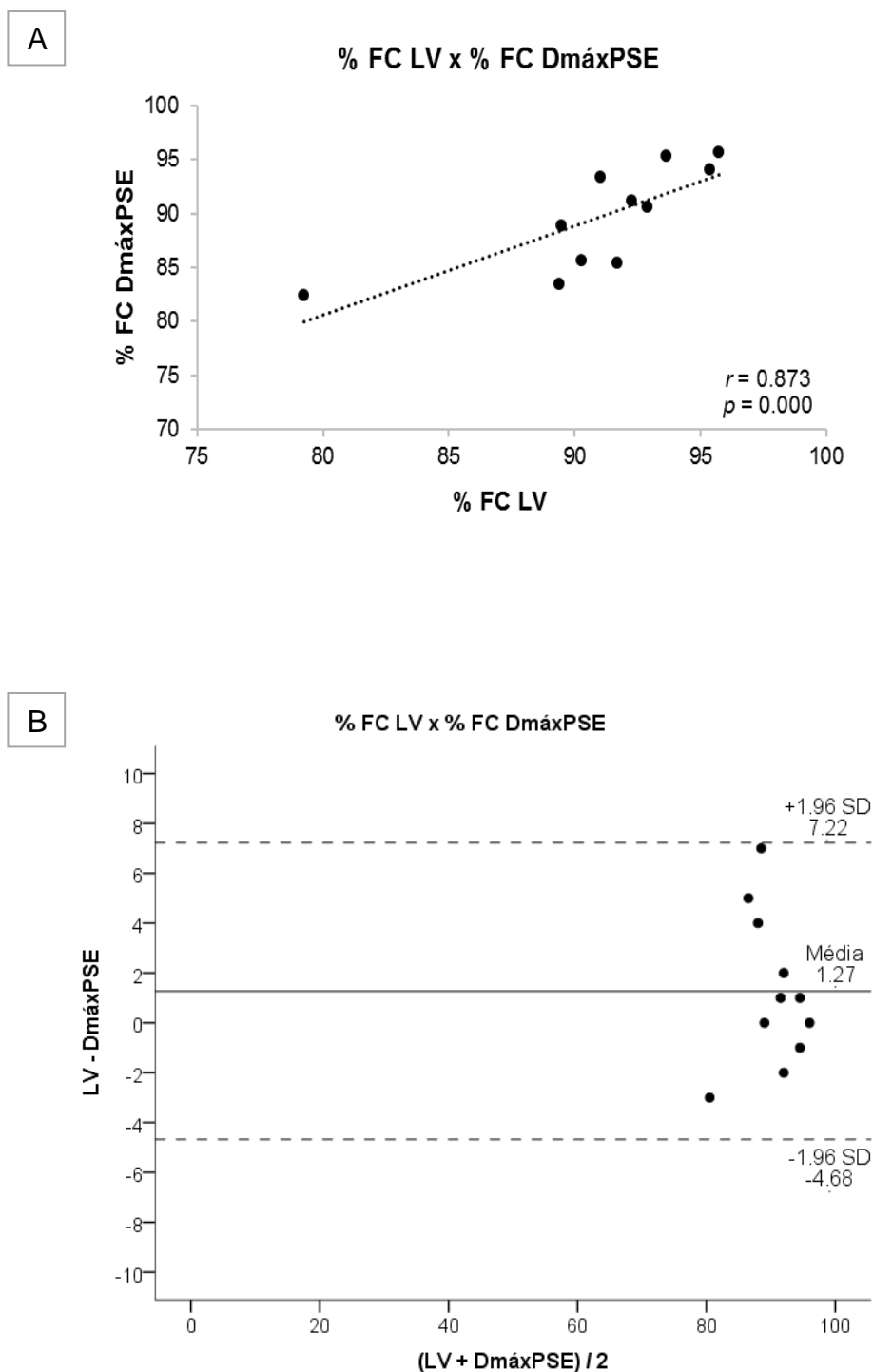


FIGURA 7. Análises entre o % da FC nos limiares determinados pelos métodos LV e DmáxPSE. (A) Correlação forte e significativa entre o % da FC no LV e o % da FC no DmáxPSE. (B) Análise de concordância, representada pelo gráfico de Bland-Altman (1983), com a linha contínua representando a média das diferenças (viés) entre os dois métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

Embora pareça promissor e, estudos ainda recomendam a utilização de escores fixos de 5 a 6 pontos na escala de CR-10 de Borg, correspondente a uma percepção “forte” (MONNIER-BENOIT; GROSLAMBERT; ROUILLON, 2009; ZAMUNÉR *et al.*, 2011) ou escores de 12 a 13 na escala RPE 6-20 de Borg (FERICHE *et al.*, 1998), para obter uma aproximação ao Lan, estas análises não consideram a variação individual biológica – sexo, idade, fatores emocionais, dieta, protocolo de teste, entre outros – que reduzem a relevância de tais métodos – vieses também observados para as concentrações fixas de lactato sanguíneo de 2 e 4 mmol.l⁻¹ (FABRE *et al.*, 2013).

Isto pode ser constatado pelo presente estudo, quando se observa diferenças significativas ($p < .05$) entre a intensidade e % de intensidade de ocorrência do Lan identificados pelos métodos LV, DmáxPSE e PDFC em relação à PSE 5.8 fixo; VO₂ no DmáxPSE em relação à PSE 5.8 fixo e % FC no LV e no DmáxPSE em relação à PSE 5.8 fixo (ver Tabela 4). Ainda que existam correlações significativas entre os métodos, a concordância não foi reportada em nenhuma das análises (ver Figura 8-13), o que demonstra equívocos na utilização de valores fixos para determinação do Lan.

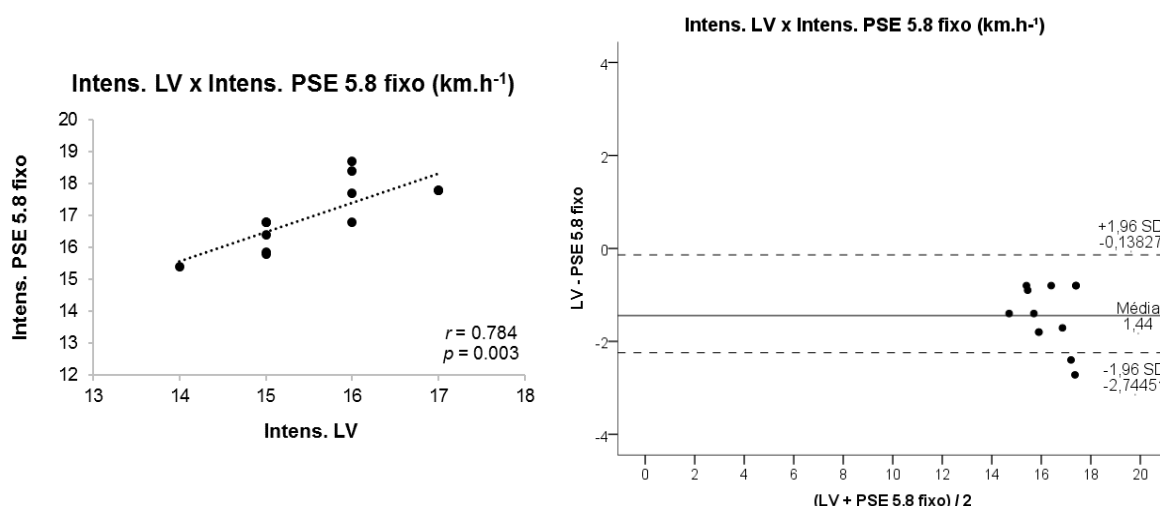


FIGURA 8. Análises de correlação e concordância entre a intensidade no LV vs. intensidade no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância (± 1.96 SD em relação à média das diferenças).

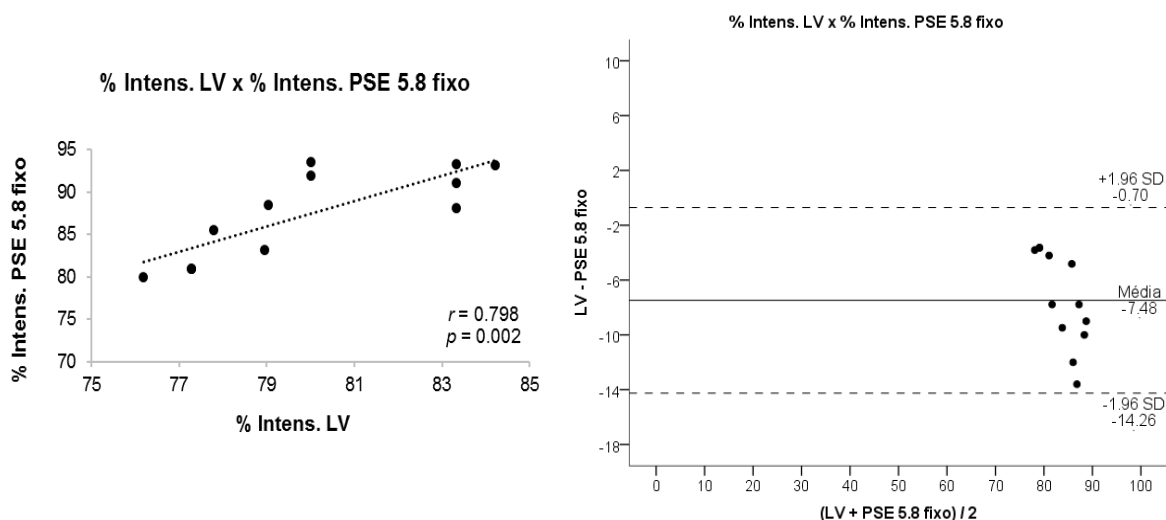


FIGURA 9. Análises de correlação e concordância entre o % da intensidade no LV vs. % da intensidade no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

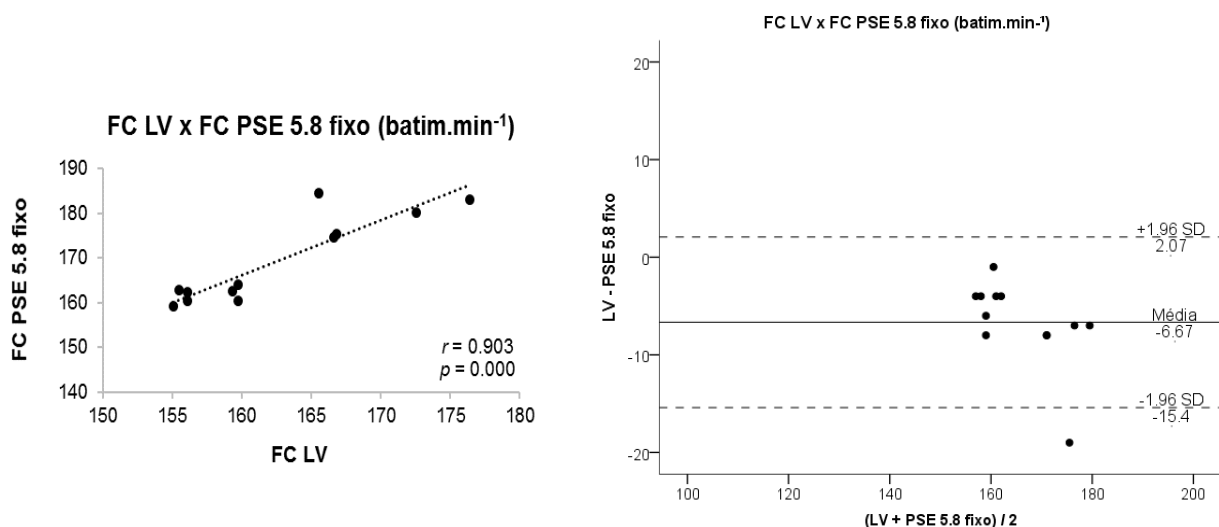


FIGURA 10. Análises de correlação e concordância entre a FC no LV vs. FC no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

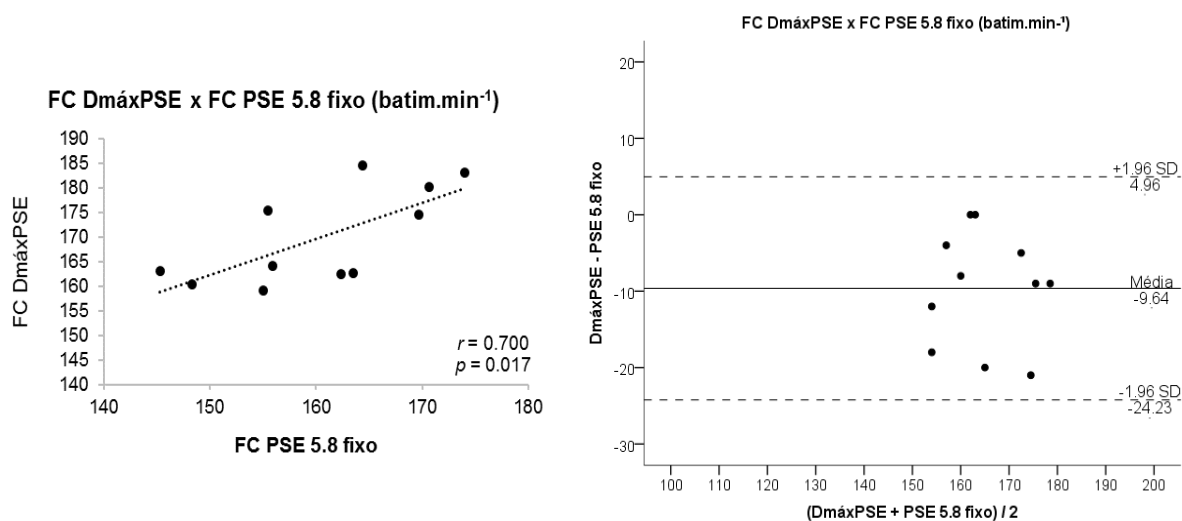


FIGURA 11. Análises de correlação e concordância entre a FC no DmáxPSE vs. FC no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância (± 1.96 SD em relação à média das diferenças).

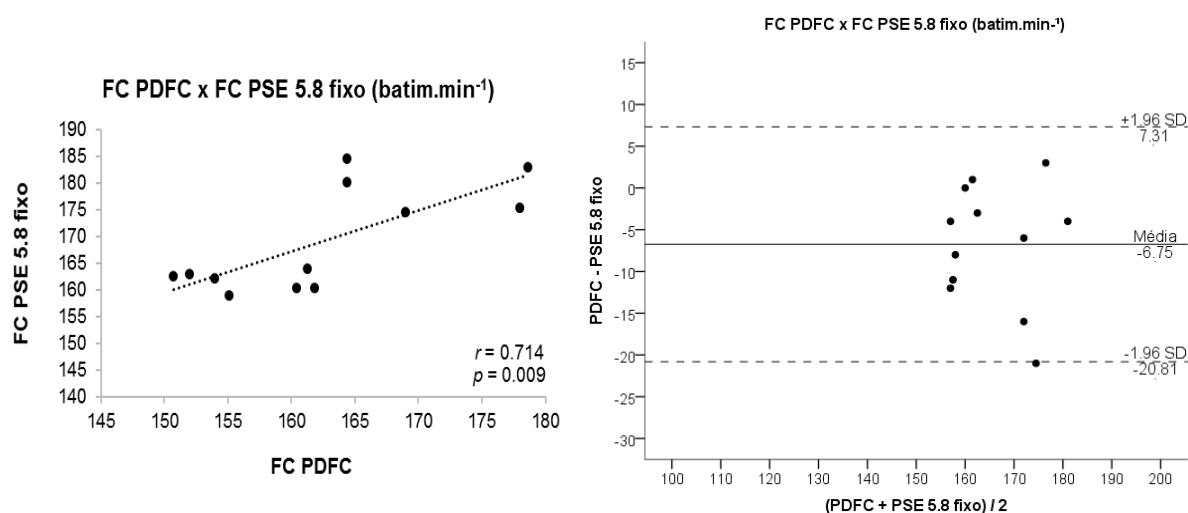


FIGURA 12. Análises de correlação e concordância entre a FC no PDFC vs. FC no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância (± 1.96 SD em relação à média das diferenças).

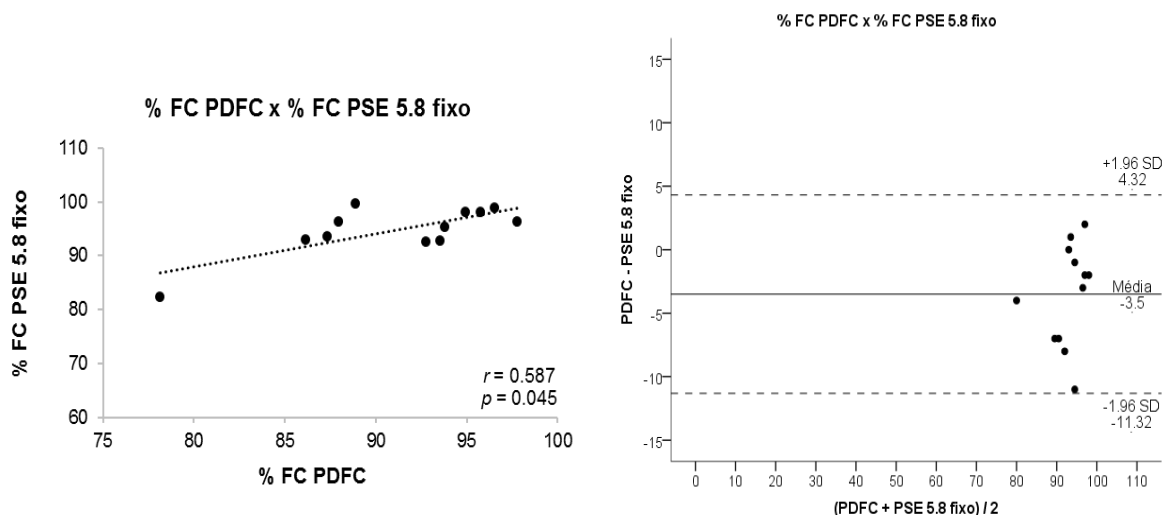


FIGURA 13. Análises de correlação e concordância entre o % FC no PDFC vs. % FC no PSE 5.8 fixo. Magnitude das correlações entre moderada e forte, com significância. Nenhuma concordância reportada pelos gráficos de Bland-Altman, cuja linha contínua representa a média das diferenças (viés) entre os métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância (± 1.96 SD em relação à média das diferenças).

Mesmo que vários estudos tenham demonstrado uma forte relação entre a PSE e os limiares de transição fisiológica, este é o primeiro a avaliar uma estimativa individual (método Dmáx.), com base nos escores de PSE, comparando-o com o LV em atletas de elite corredores de montanhas. É importante ressaltar também a utilidade de escalas de razão psicofísicas – aqui CR-10 de Borg – por apresentar uma elevação concomitante e em função do aumento da intensidade (FABRE *et al.*, 2013).

Estudos demonstram que o esforço percebido resulta da integração de uma série de receptores de sinais sensoriais encontrados nos músculos esqueléticos e no sistema cardiopulmonar (BORG, G. A., 1982). Durante o exercício, sinalizações estimuladas por pH, acidose muscular e sanguíneo, catecolaminas circulantes, bem como os fatores externos, como a temperatura e altitude, em forma de *feedback*, são interpretadas pelo cérebro que, por sua vez, envia uma resposta para os músculos e órgãos em forma de *feedforward*, no qual pode ser mensurada, quantitativamente, pela PSE (NOAKES; PELTONEN; RUSKO, 2001). Neste contexto, os aumentos da atividade simpática, bem como da adrenalina circulante, modulam a cinética da PSE (NOAKES, 2010), assim como da FC.

Assim sendo, a avaliação do esforço percebido mostra-se intimamente relacionada aos parâmetros periféricos metabólicos ([La]), bem como aos sinais

centrais, envolvendo FC (SCHERR *et al.*, 2013) e ventilação, que atuam como amplificadores e potencializadores da percepção de esforço durante exercícios dinâmicos (ROBERTSON, 1981).

O ACSM sugere que a PSE pode acrescentar precisão à FC, durante a monitoração da intensidade do exercício e até mesmo substituí-la (CHOW; WILMORE, 1984). Em um estudo de coorte, Scherr e colaboradores (2013), avaliaram 2.560 indivíduos que completaram testes incrementais em esteiras ou ciclo ergômetros. Foram encontradas fortes correlações entre os escores de PSE com FC ($r = .74$; $p < .001$) e com o lactato sanguíneo ($r = .83$; $p < .001$). Os autores também sugerem que a PSE é uma ferramenta válida e prática para a prescrição e monitoramento da intensidade de exercício, para indivíduos saudáveis e pacientes com doenças cardiovasculares, independentes do gênero, idade ou nível de atividade física.

Neste aspecto, outro interessante resultado encontrado pelo presente estudo, pode ser citado. O método DmáxPSE, comparado ao PDFC apresentam-se similares, tendo em vista que todas as variáveis correspondentes aos limiares não tiveram diferenças significativas ($p > .05$). Da mesma forma, Conde *et al.* (2014) não encontraram diferenças significativas ($p > .05$) entre os métodos, ao avaliarem indivíduos fisicamente ativos, durante teste progressivo em esteira e, sugerem a utilização do DmáxPSE como preditor do PDFC. Novamente, pode ser possível que o método DmáxPSE seja um bom método alternativo para a predição do Lan, haja vista que o PDFC é amplamente utilizado para a avaliação do mesmo. De fato, a PSE parece estar vinculada à demanda metabólica evidenciada pela FC durante o exercício (GREEN *et al.*, 2005).

Como mencionando anteriormente, a literatura reporta que a utilização do PDFC parece eficaz na determinação ao Lan (RIBEIRO *et al.*, 1985; HOFMANN *et al.*, 1994; BUNC *et al.*, 1995; DE-OLIVEIRA, 2004; CARMINATTI, 2006). Os resultados do presente estudo mostram-se consistentes, ao encontrar semelhança deste método com o LV ($p < .05$), para todas as variáveis. Em adição, os distintos métodos de identificação do Lan apresentaram fortes correlações e baixo viés, quando expressos em intensidade do LV vs. PDFC (ver Figura 14, $r = .637$; $p = .002$) e % FC do LV vs. PDFC (ver Figura 15, $r = .755$; $p = .005$), obtendo-se, assim, evidências a favor de sua utilização para a aproximação do Lan. Similarmente, Conde *et al.* (2014) observaram que a intensidade de ocorrência do LL e do PDFC

foram similares, além apresentarem correlações significativas, quando expressos pela FC ($r = .91$; $p < .05$), % FC ($r = .87$; $p < .05$), intensidade ($r = .90$; $p < .05$) e escores de PSE ($r = .91$; $p < .05$).

Ainda que a utilização do método se encontra controversa, Mikulic *et al.* (2011) também encontraram uma forte associação entre as variáveis fisiológicas mensuradas no PDFC e LL ($r = .79 - .96$; $p \leq .001$) e, a intensidade e a FC encontrados no PDFC estão fortemente relacionados às transições fisiológicas (LV e LL), tendo sido reconhecido como um bom indicador do Lan (BUCHHEIT; SOLANO; MILLET, 2007). A discrepância encontrada na literatura pode ser justificada, em partes, aos diferentes protocolos de testes e ergômetros. Adicionalmente, a diferença de gênero e condicionamento físico também podem ser considerados limitações (COUTO *et al.*, 2013), haja vista que a função ventricular (volume de ejeção e fração de ejeção do ventrículo esquerdo) podem influenciar no comportamento cardiovascular em teste incremental (HAWKINS *et al.*, 2007) e, conseqüentemente, alterar a identificação do Lan (COUTO *et al.*, 2013).

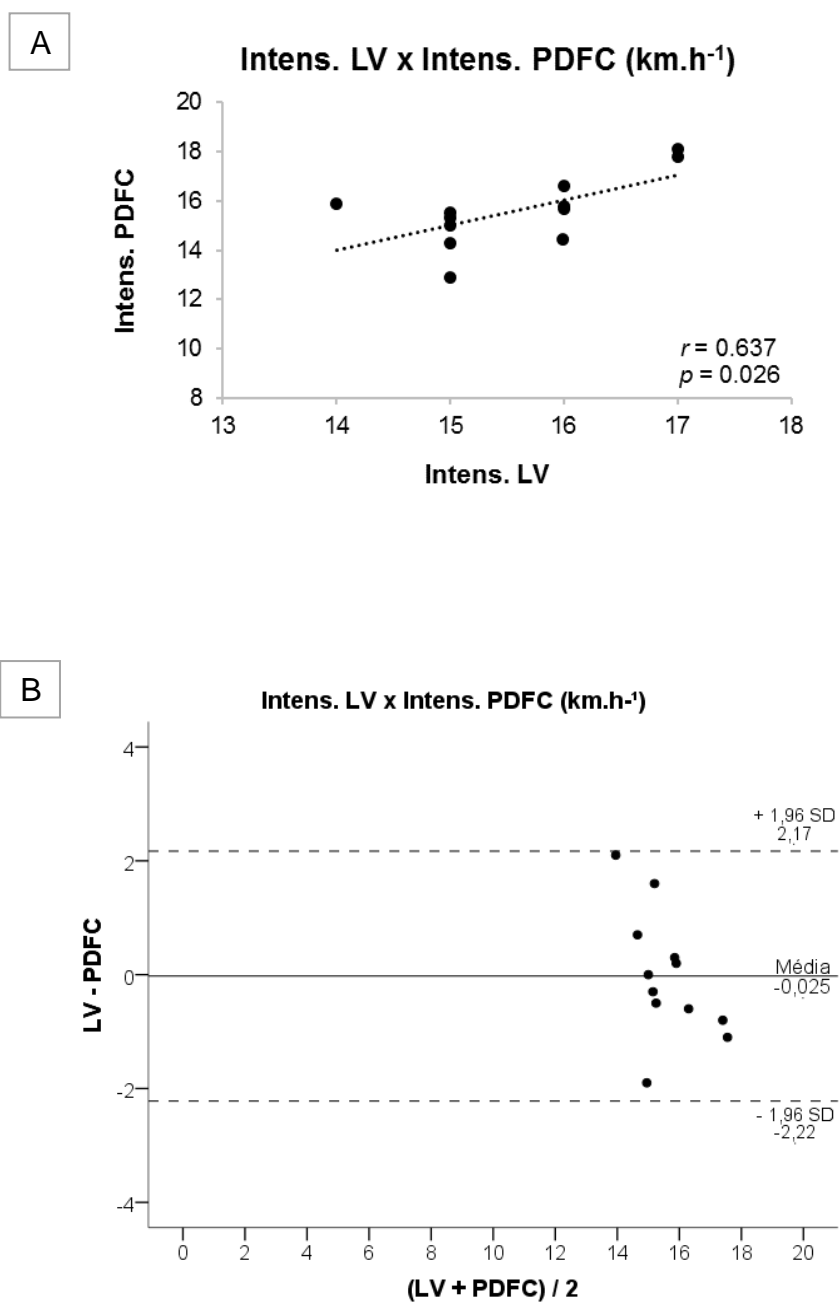


FIGURA 14. Análises entre as intensidades (km.h⁻¹) dos limiares determinados pelos métodos LV e PDFC. (A) Correlação moderada e significativa entre a intensidade de ocorrência do LV e a intensidade de ocorrência do PDFC. (B) Análise de concordância, representada pelo gráfico de Bland-Altman, com a linha contínua representando a média das diferenças (viés) entre os dois métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

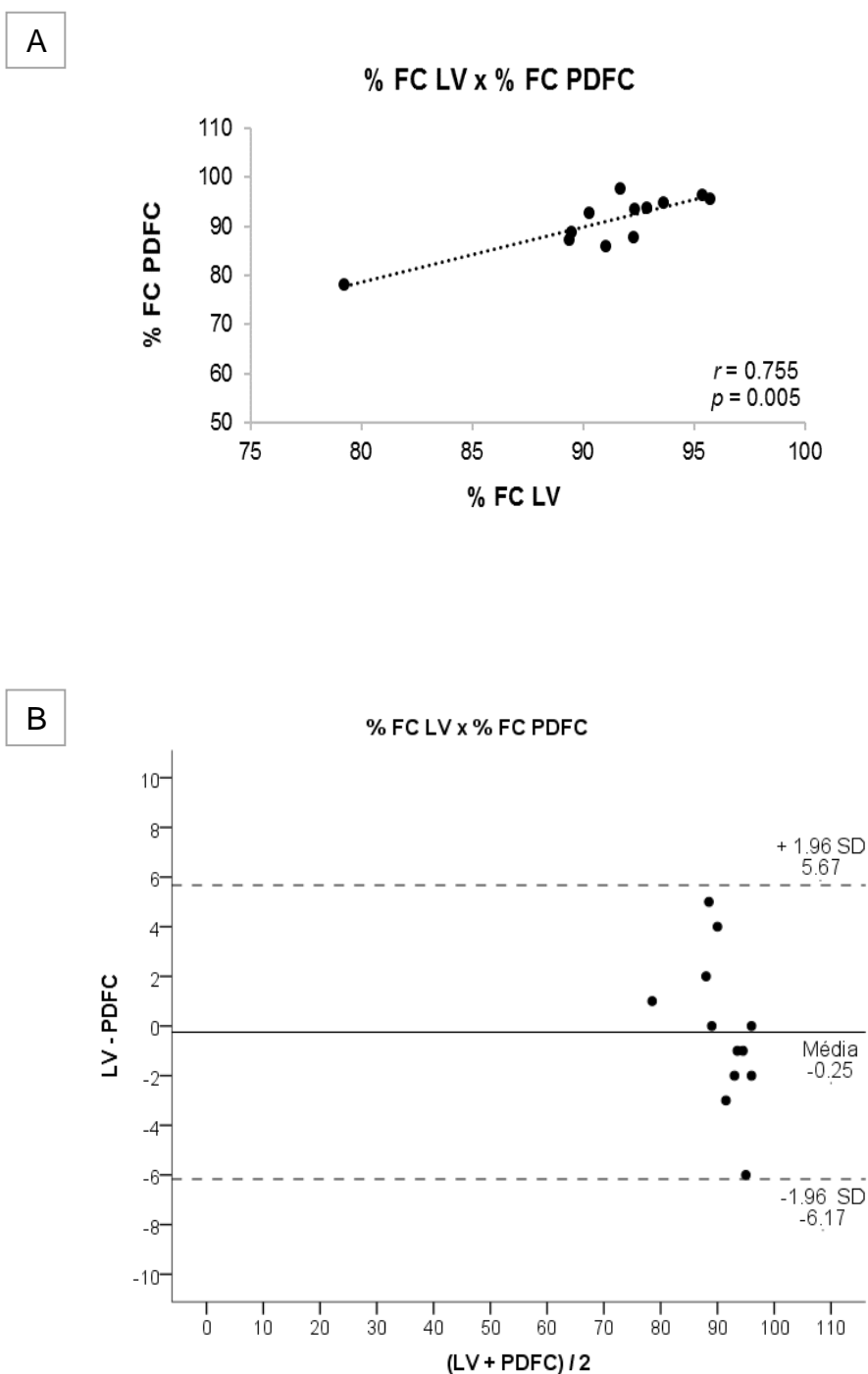


FIGURA 15. Análises entre o % da FC nos limiares determinados pelos métodos LV e PDFC. (A) Correlação forte e significativa entre o % da FC no LV e o % FC no PDFC. (B) Análise de concordância, representada pelo gráfico de Bland-Altman, com a linha contínua representando a média das diferenças (viés) entre os dois métodos e, as duas linhas extremas representando os limites de concordância ($\pm 1.96 \text{ SD}$ em relação à média das diferenças).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente estudo demonstra, claramente, que a aplicação do método DmáxPSE é consistente e capaz de predizer o Lan, em corredores de montanhas, durante um teste progressivo, de forma precisa e respeitando a individualidade biológica. De fato, não se faz necessária a utilização de ferramentas de alto custo ou métodos invasivos para a avaliação do desempenho. Além disso, conforme encontrado na literatura (BERTUZZI *et al.*, 2014), as respostas perceptivas estão associadas ao desempenho em provas de longa duração.

Foi possível perceber que o método DmáxPSE é considerado um bom preditor do LV e, adicionalmente, também capaz de predizer o PDFC. No entanto, pesquisas adicionais devem ser realizadas, no sentido de confirmar este conceito em relação ao PDFC.

Tem sido relatado que a determinação do Lan depende do protocolo utilizado (RIBEIRO, J. *et al.*, 1985), bem como da própria modalidade praticada (FABRE *et al.*, 2013). Embora encontra-se o uso de diferentes metodologias de identificação de LT, bem como diferentes variáveis de referência (ventilatórias ou [La]), os resultados do presente estudo mostram-se consistentes com a literatura atual e, de grande interesse. A utilização de parâmetros respiratórios no presente estudo também se torna interessante, já que auxiliaram na descrição de fenômenos fisiológicos, bem como sua relação com a escala de PSE.

Com relação à escala CR-10 de Borg (1982), sugere-se um elevado nível de precisão do método pode ser melhorado com a familiarização e experiência na utilização da mesma (FABRE *et al.*, 2013). Embora instruções de administração da escala foram dadas, como ler e explicar a cada participante no início do teste, é importante também enfatizar a importância do seu uso. A escolha da escala se justifica, pois, as escalas de categoria (e.g. CR-10 ou CR-100), possuem ajustes não lineares, em testes incrementais, da mesma forma que ocorre com os ajustes fisiológicos (BORG, E.; KAIJSER, 2006). Em adição, a escala proporcionou pontos suficientes para o ajuste matemático, realizado ao determinar o DmáxPSE.

Outros estudos podem ser úteis para validar o DmáxPSE, ao testar sua repetitividade, haja vista que as respostas da PSE podem ser suscetíveis ao viés,

quanto maior for a exposição a um teste (FABRE *et al.*, 2013). Estudos posteriores também devem ser confirmados com diferentes protocolos incrementais, diferentes populações, durante o treinamento e, em estados dietéticos diferentes.

8 CONCLUSÃO

O Lan, identificado pelo método ventilatório (LV), pode ser predito pelos métodos DmáxPSE ou PDFC, dentre os quais não apresentaram diferenças significativas, além de correlação expressiva e baixo viés. Sendo assim, os métodos podem ser utilizados de forma intercambiável, sem prejudicar os resultados. Em adição, o DmáxPSE também se mostrou eficaz na predição do PDFC, que pode ser observado pela similaridade entre as variáveis analisadas entre os métodos. Sugere-se então a utilização de métodos alternativos, de baixo custo operacional e não invasivos, para a determinação do Lan, em corredores de montanhas de elite.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, D. D. O.; FORJAZ, C. L. D. M.; REZENDE, L. O.; BRAGA, A. M. F.; BARRETTO, A. C. P.; NEGRÃO, C. E.; RONDON, M. U. P. B. Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. *Arq. bras. cardiol*, v. 71, n. 6, p. 787-92, 1998.
- ALTMAN, D. G.; BLAND, J. M. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *The statistician*, p. 307-317, 1983.
- AMANN, M.; SUBUDHI, A. W.; WALKER, J.; EISENMAN, P.; SHULTZ, B.; FOSTER, C. An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 36, p. 1716-1722, 2004.
- ANDERSON, G.; RHODES, E. A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Medicine*, v. 8, n. 1, p. 43-55, 1989.
- AZEVEDO, P. H. S. M.; GARCIA, A.; DUARTE, J. M. P.; RISSATO, G. M.; CARRARA, V. K. P.; MARSON, R. A. Limiar Anaeróbio e Bioenergética: uma abordagem didática-DOI: 10.4025/reveducfis. v20i3. 4743. *Revista da Educação Física/UEM*, v. 20, n. 3, p. 453-464, 2009.
- BALDUCCI, P.; CLÉMENÇON, M.; MOREL, B.; QUINIOU, G.; SABOUL, D.; HAUTIER, C. A. Comparison of Level and Graded Treadmill Tests to Evaluate Endurance Mountain Runners. *Journal of sports science & medicine*, v. 15, n. 2, p. 239, 2016.
- BAUMANN, C. W.; RUPP, J. C.; INGALLS, C. P.; DOYLE, J. A. Anaerobic work capacity's contribution to 5-km-race performance in female runners. *Int J Sports Physiol Perform*, v. 7, p. 170-174, 2012.
- BEAVER, W. L.; WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of applied physiology*, v. 60, n. 6, p. 2020-2027, 1986.
- BENTLEY, D. J.; MCNAUGHTON, L. R.; THOMPSON, D.; VLECK, V. E.; BATTERHAM, A. M. Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Medicine and Science in Sports and exercise*, v. 33, n. 12, p. 2077-2081, 2001.
- BERTUZZI, R.; LIMA-SILVA, A. E.; PIRES, F. O.; DAMASCENO, M. V.; BUENO, S.; PASQUA, L. A.; BISHOP, D. J. Pacing strategy determinants during a 10-km running time trial: contributions of perceived effort, physiological, and muscular parameters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 28, n. 6, p. 1688-1696, 2014.

BERTUZZI, R.; NASCIMENTO, E. M.; URSO, R. P.; DAMASCENO, M.; LIMA-SILVA, A. E. Energy system contributions during incremental exercise test. *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 12, n. 3, p. 454-460, 2013.

BORG, E.; KAIJSER, L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, v. 16, n. 1, p. 57-69, 2006.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.

BORG, G.; HASSMÉN, P.; LAGERSTRÖM, M. Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 56, n. 6, p. 679-685, 1987.

BOUTCHER, S. H.; SEIP, R. L.; HETZLER, R. K.; PIERCE, E. F.; SNEAD, D.; WELTMAN, A. The effects of specificity of training on rating of perceived exertion at the lactate threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 59, n. 5, p. 365-369, 1989.

BRANCO, F. D. C.; VIANNA, J. M.; LIMA, J. R. P. D. Frequência cardíaca na prescrição de treinamento de corredores de fundo. *Rev. bras. ciênc. mov*, v. 12, n. 2, p. 75-79, 2004.

BROOKS, G. A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 17, n. 1, p. 22-34, 1985.

BUCHHEIT, M.; SOLANO, R.; MILLET, G. P. Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatr Exerc Sci*, v. 19, n. 2, p. 192-204, 2007.

BURTSCHER, J.; FURTNER, M.; SACHSE, P.; BURTSCHER, M. VALIDATION OF A GERMAN VERSION OF THE SPORT MOTIVATION SCALE (SMS28) AND MOTIVATION ANALYSIS IN COMPETITIVE MOUNTAIN RUNNERS 1, 2. Perceptual and motor skills, v. 112, n. 3, p. 807-820, 2011.

BURTSCHER, M.; FÖRSTER, H.; BURTSCHER, J. Superior endurance performance in aging mountain runners. *Gerontology*, v. 54, n. 5, p. 268-271, 2008.

CAIOZZO, V. J.; DAVIS, J. A.; ELLIS, J. F.; AZUS, J. L.; VANDAGRIFF, R.; PRIETTO, C.; MCMASTER, W. A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, v. 53, n. 5, p. 1184-1189, 1982.

CAMBRI, L. T.; FOZA, V.; NAKAMURA, F. Y.; DE OLIVEIRA, F. R. Frequência cardíaca e a identificação dos pontos de transição metabólica em esteira rolante. *Journal of Physical Education*, v. 17, n. 2, p. 131-137, 2008.

CARLSOHN, A.; MÜLLER, W. Anthropometry and Dietary Intake before and during a Competition in Mountain Runners. *Journal of nutrition and metabolism*, v. 2014, 2014.

CHENG, B.; KUIPERS, H.; SNYDER, A.; KEIZER, H.; JEUKENDRUP, A.; HESSELINK, M. A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International journal of sports medicine*, v. 13, n. 07, p. 518-522, 1992.

COHEN, J. *Statistical power analysis*. 1988.

CONCONI, F.; FERRARI, M.; ZIGLIO, P. G.; DROGHETTI, P.; CODECA, L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *Journal of Applied Physiology*, v. 52, n. 4, p. 869-873, 1982.

CONDE, J. H. S.; RUBIO, T. B. G.; FERREIRA, G. A.; COELHO, R. L.; DE OLIVEIRA, F. R.; OSIECKI, R. Identification of the lactate threshold and the heart rate deflection point by the perceived exertion curve. *Journal of Exercise Physiology Online*, v. 17, n. 3, p. 32-39, 2014.

COSTA, V. P.; DE LIMA, J. R. P.; DE-OLIVEIRA, F. R. Identificação de limiares metabólicos em curvas de frequência cardíaca ajustadas. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, v. 21, n. 3, p. 219-227, 2007.

COTTIN, F.; MÉDIGUE, C.; LOPES, P.; LEPRÊTRE, P.-M.; HEUBERT, R.; BILLAT, V. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *International journal of sports medicine*, v. 28, n. 04, p. 287-294, 2007.

COUTO, P. G.; RODRIGUES, A. P.; FERREIRA JUNIOR, A. J.; SILVA, S. F. D.; DE OLIVEIRA, F. R. Pontos de transição da frequência cardíaca em teste progressivo máximo. *Motriz, Rio Claro*, v. 19, n. 2, p. 261-268, 2013.

COYLE, E. F.; COGGAN, A. R.; HOPPER, M.; WALTERS, T. J. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, v. 64, n. 6, p. 2622-2630, 1988.

COYLE, E.; FELTNER, M. E.; KAUTZ, S.; HAMILTON, M.; MONTAIN, S.; BAYLOR, A.; ABRAHAM, L.; PETREK, G. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 23, n. 1, p. 93-107, 1991.

CREWE, H.; TUCKER, R.; NOAKES, T. D. The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *European journal of applied physiology*, v. 103, n. 5, p. 569-577, 2008.

DAVIES, R. C.; ROWLANDS, A. V.; ESTON, R. G. Effect of exercise-induced muscle damage on ventilatory and perceived exertion responses to moderate and severe intensity cycle exercise. *European journal of applied physiology*, v. 107, n. 1, p. 11-19, 2009.

DAVIS, J. A.; VODAK, P.; WILMORE, J. H.; VODAK, J.; KURTZ, P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 41, n. 4, p. 544-550, 1976.

DE OLIVEIRA PIRES, F.; DO CARMO, Í. M. L.; ARROYO, F. N.; DE-OLIVEIRA, F. R. Característica sigmóide da FC durante teste progressivo e aplicação de diferentes métodos de identificação dos limiares de FC. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, v. 7, n. 1, 2008.

DEKERLE, J.; BARON, B.; DUPONT, L.; VANVELCENAHAR, J.; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European journal of applied physiology*, v. 89, n. 3-4, p. 281-288, 2003.

DEVIDE, F. P.; OSBORNE, R.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. C.; CLAIR, E. S.; NERY, L. C. P. Estudos de gênero na educação física brasileira. *Motriz*, Rio Claro, v. 17, n. 1, p. 93-103, 2011.

DI PRAMPERO, P.; ATCHOU, G.; BRÜCKNER, J.-C.; MOIA, C. The energetics of endurance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 55, n. 3, p. 259-266, 1986.

EASTHOPE, C. S.; HAUSSWIRTH, C.; LOUIS, J.; LEPERS, R.; VERCRUYSSSEN, F.; BRISSWALTER, J. Effects of a trail running competition on muscular performance and efficiency in well-trained young and master athletes. *European journal of applied physiology*, v. 110, n. 6, p. 1107-1116, 2010.

EDWARDS, A.; CLARK, N.; MACFADYEN, A. Lactate and ventilatory thresholds reflect the training status of professional soccer players where maximum aerobic power is unchanged. *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 2, p. 23-29, 2003.

ELSANGEDY, H. M.; KRINSKI, K.; COSTA, E. C.; HAILE, L.; FONTELES, A. I.; DA SILVA TIMOSSI, L.; DA SILVA, S. G. The rating of perceived exertion is not different at the ventilatory threshold in sedentary women with different body mass indices. *Journal of Exercise Science & Fitness*, v. 11, n. 2, p. 102-106, 2013.

ERDOGAN, A.; CETIN, C.; KARATOSUN, H.; BAYDAR, M. Non-invasive indices for the estimation of the anaerobic threshold of oarsmen. *Journal of International Medical Research*, v. 38, n. 3, p. 901-915, 2010.

ESTEVE-LANAO, J.; LUCIA, A.; FOSTER, C. How do humans control physiological strain during strenuous endurance exercise? *PLoS One*, v. 3, n. 8, p. e2943, 2008.

ESTON, R. G. Perceived exertion: Recent advances and novel applications in children and adults. *Journal of Exercise Science & Fitness*, v. 7, n. 2, p. S11-S17, 2009.

ESTON, R. Use of ratings of perceived exertion in sports. 2012. Human Kinetics Publishers Champaign, IL

FABRE, N.; MOUROT, L.; ZERBINI, L.; PELLEGRINI, B.; BORTOLAN, L.; SCHENA, F. A novel approach for lactate threshold assessment based on rating of perceived exertion. *Int J Sports Physiol Perform*, v. 8, n. 3, p. 263-270, 2013.

FARRELL, P. A.; WILMORE, J. H.; COYLE, E. F.; BILLING, J. E.; COSTILL, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*, v. 11, n. 4, p. 338-44, 1979.

FAUDE, O.; KINDERMANN, W.; MEYER, T. Lactate threshold concepts. *Sports medicine*, v. 39, n. 6, p. 469-490, 2009.

FERICHE, B.; CHICHARRO, J.; VAQUERO, A.; PEREZ, M.; LUCIA, A. The use of a fixed value of RPE during a ramp protocol. Comparison with the ventilatory threshold. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, v. 38, n. 1, p. 35-38, 1998.

FERREIRA, G. A.; BERTUZZI, R.; LIMA-SILVA, A. E.; Malfatti, C.; DE-OLIVEIRA, F. R.; OSIECKI, R. Identification of training status differences using perceived exertion threshold. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 41, n. 4, p. 456-459, 2015.

FERREIRA, G. A.; OSIECKI, R.; LIMA-SILVA, A. E.; DE ANGELIS-PEREIRA, M. C.; DE-OLIVEIRA, F. R. Effect of a reduced-CHO diet on the rate of perceived exertion curve during an incremental test. *Int J Sport Nutr Exerc Metabolism*, 2014.

FOSTER, C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 30, p. 1164-1168, 1998.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and sport sciences reviews*, v. 24, n. 1, p. 35-70, 1996.

GARBER, C. E.; BLISSMER, B.; DESCHENES, M. R.; FRANKLIN, B. A.; LAMONTE, M. J.; LEE, I.-M.; NIEMAN, D. C.; SWAIN, D. P. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 43, n. 7, p. 1334-1359, 2011.

GASKILL, S. E.; RUBY, B. C.; WALKER, A. J.; SANCHEZ, O. A.; SERFASS, R. C.; LEON, A. S. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 33, n. 11, p. 1841-1848, 2001.

GATTERER, H.; SCHENK, K.; WILLE, M.; RASCHNER, C.; FAULHABER, M.; FERRARI, M.; BURTSCHER, M. Race performance and exercise intensity of male amateur mountain runners during a multistage mountain marathon competition are not dependent on muscle strength loss or cardiorespiratory fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 27, n. 8, p. 2149-2156, 2013.

GIAVARINA, D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia medica*, v. 25, n. 2, p. 141-151, 2015.

GREEN, J.; MCLESTER, J.; CREWS, T.; WICKWIRE, P.; PRITCHETT, R.; REDDEN, A. RPE-lactate dissociation during extended cycling. *European journal of applied physiology*, v. 94, n. 1-2, p. 145-150, 2005.

HAGBERG, J. M.; COYLE, E. F. Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 15, n. 4, p. 287-289, 1982.

HAWKINS, M. N.; RAVEN, P. B.; SNELL, P. G.; STRAY-GUNDERSEN, J.; LEVINE, B. D. Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Med Sci Sports Exerc*, v. 39, n. 1, p. 103-107, 2007.

HEINRICH, D.; BURTSCHER, J.; BURTSCHER, M. EFFECTS OF INDIVIDUAL AEROBIC PERFORMANCE ON FINISH TIME IN MOUNTAIN RUNNING 1. *Perceptual & Motor Skills*, v. 114, n. 3, p. 979-982, 2012.

HELSINKI, D. O. Declaration of Helsinki. Ethical principles for medical research involving human subjects. World Medical Association, 2009.

HOFFMAN, M. D. Anthropometric characteristics of ultramarathoners. *International journal of sports medicine*, v. 29, n. 10, p. 808-811, 2008a.

_____. Ultramarathon trail running comparison of performance-matched men and women. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 40, n. 9, p. 1681-1686, 2008b.

HOFFMAN, M. D.; FOGARD, K. Demographic characteristics of 161-km ultramarathon runners. *Research in Sports Medicine*, v. 20, n. 1, p. 59-69, 2012.

HOFFMAN, M. D.; INGWERTSON, J. L.; ROGERS, I. R.; HEW-BUTLER, T.; STUEMPFLE, K. J. Increasing creatine kinase concentrations at the 161-km Western States Endurance Run. *Wilderness & environmental medicine*, v. 23, n. 1, p. 56-60, 2012.

HOFFMAN, M. D.; ONG, J. C.; WANG, G. Historical analysis of participation in 161 km ultramarathons in North America. *The International journal of the history of sport*, v. 27, n. 11, p. 1877-1891, 2010.

HOFFMAN, M. D.; WEGELIN, J. A. The Western States 100-mile endurance run: participation and performance trends. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 41, n. 12, p. 2191, 2009.

HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 27, n. 9, p. 1292-1301, 1995.

IAAF, I. A. O. A. F. Competition Rules 2016-2017. 2015.

IRVING, B. A.; RUTKOWSKI, J.; BROCK, D. W.; DAVIS, C. K.; BARRETT, E. J.; GAESSER, G. A.; WELTMAN, A. Comparison of Borg-and OMNI-RPE as markers of the blood lactate response to exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 38, n. 7, p. 1348, 2006.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. *British journal of nutrition*, v. 40, n. 03, p. 497-504, 1978.

JONES, A. M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine*, v. 29, n. 6, p. 373-386, 2000.

JOUFFROY, R.; CAILLE, V.; PERROT, S.; VIEILLARD-BARON, A.; DUBOURG, O.; MANSENCAL, N. Changes of Cardiac Function During Ultradistance Trail Running. *The American journal of cardiology*, v. 116, n. 8, p. 1284-1289, 2015.

KARA, M.; GOKBEL, H.; BEDIZ, C.; ERGENE, N.; UCOK, K.; UYSAL, H. Determination of the heart rate deflection point by the Dmax method. *Journal of sports medicine and physical fitness*, v. 36, n. 1, p. 31-34, 1996.

KILDING, A.; WINTER, E.; FYSH, M. Moderate-domain pulmonary oxygen uptake kinetics and endurance running performance. *Journal of sports sciences*, v. 24, n. 9, p. 1013-1022, 2006.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

KNECHTLE, B.; KNECHTLE, P.; ROSEMAN, T. Race performance in male mountain ultra-marathoners: anthropometry or training? Perceptual and motor skills, v. 110, n. 3, p. 721-735, 2010.

KRUSEMAN, M.; BUCHER, S.; BOVARD, M.; KAYSER, B.; BOVIER, P. A. Nutrient intake and performance during a mountain marathon: an observational study. *European journal of applied physiology*, v. 94, n. 1-2, p. 151-157, 2005.

KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F.; KEIZER, H.; GEURTEN, P.; VAN KRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *International journal of sports medicine*, v. 6, n. 04, p. 197-201, 1985.

KUMAGAI, S.; TANAKA, K.; MATSUURA, Y.; MATSUZAKA, A.; HIRAKOBA, K.; ASANO, K. Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 mile races. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 49, n. 1, p. 13-23, 1982.

KUPCHAK, B. R.; KRAEMER, W. J.; HOFFMAN, M. D.; PHINNEY, S. D.; VOLEK, J. S. The impact of an ultramarathon on hormonal and biochemical parameters in men. *Wilderness & environmental medicine*, v. 25, n. 3, p. 278-288, 2014.

LANGFORT, J.; CZARNOWSKI, D.; ENDZIAN-PIOTROWSKA, M.; ZARZECZNY, R.; GORSKI, J. Short-term low-carbohydrate diet dissociates lactate and ammonia thresholds in men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 18, n. 2, p. 260-265, 2004.

LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of applied physiology*, v. 83, n. 1, p. 102-112, 1997.

LEWIS, S. F.; TAYLOR, W. F.; GRAHAM, R. M.; PETTINGER, W. A.; SCHUTTE, J. E.; BLOMQVIST, C. G. Cardiovascular responses to exercise as functions of absolute and relative work load. *Journal of Applied Physiology*, v. 54, n. 5, p. 1314-1323, 1983.

LIMA, J. R. P.; KISS, M. A. P. D. M. Limiar de variabilidade da frequência cardíaca. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, v. 4, n. 1, p. 29-38, 1999.

LIMA-SILVA, A. E.; BERTUZZI, R. C.; PIRES, F. O.; FRONCHETTI, L.; GEVAERD, M. S.; DE-OLIVEIRA, F. R. A low carbohydrate diet affects autonomic modulation during heavy but not moderate exercise. *European journal of applied physiology*, v. 108, n. 6, p. 1133-1140, 2010.

LUCÍA, A.; SÁNCHEZ, O.; CARVAJAL, A.; CHICHARRO, J. L. Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *British journal of sports medicine*, v. 33, n. 3, p. 178-185, 1999.

MADER, A.; HECK, H.; HOLLMANN, W. Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers. *The international congress of physical activity sciences*, 1978. p.187-200.

MCRAE, G.; PAYNE, A.; ZELT, J. G.; SCRIBBANS, T. D.; JUNG, M. E.; LITTLE, J. P.; GURD, B. J. Extremely low volume, whole-body aerobic-resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 37, n. 6, p. 1124-1131, 2012.

MENDES, T. T.; FONSECA, T. R.; RAMOS, G. P.; WILKE, C. F.; CABIDO, C. E. T.; DE BARROS, C. L. M.; LIMA, A. M.; MORTIMER, L. D. A. C. F.; DE CARVALHO, M. V.; TEIXEIRA, M. M. Six weeks of aerobic training improves VO₂max and MLSS but does not improve the time to fatigue at the MLSS. *European journal of applied physiology*, v. 113, n. 4, p. 965-973, 2013.

MIKULIC, P.; VUCETIC, V.; SENTIJA, D. Strong relationship between heart rate deflection point and ventilatory threshold in trained rowers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 25, n. 2, p. 360-366, 2011.

MILLET, G. P.; DRÉANO, P.; BENTLEY, D. J. Physiological characteristics of elite short-and long-distance triathletes. *European Journal of Applied Physiology*, v. 88, n. 4-5, p. 427-430, 2003.

MILLET, G. P.; MILLET, G. Y. Ultramarathon is an outstanding model for the study of adaptive responses to extreme load and stress. *BMC medicine*, v. 10, n. 1, p. 1, 2012.

MILLET, G. Y. Can Neuromuscular Fatigue Explain Running Strategies and Performance in Ultra-Marathons? *Sports medicine*, v. 41, n. 6, p. 489-506, 2011.

MIYASHITA, M.; KANEHISA, H.; NEMOTO, I. EMG related to anaerobic threshold. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, v. 21, n. 3, p. 209-217, 1981.

MONNIER-BENOIT, P.; GROSLAMBERT, A.; ROUILLON, J.-D. Determination of the ventilatory threshold with affective valence and perceived exertion in trained cyclists: a preliminary study. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 23, n. 6, p. 1752-1757, 2009.

MRAKIC-SPOSTA, S.; GUSSONI, M.; MORETTI, S.; PRATALI, L.; GIARDINI, G.; TACCHINI, P.; DELLANOCE, C.; TONACCI, A.; MASTORCI, F.; BORGHINI, A. Effects of Mountain Ultra-Marathon Running on ROS Production and Oxidative Damage by Micro-Invasive Analytic Techniques. *PloS one*, v. 10, n. 11, p. e0141780, 2015.

NIEMAN, D. C.; DUMKE, C. L.; HENSON, D. A.; MCANULTY, S. R.; GROSS, S. J.; LIND, R. H. Muscle damage is linked to cytokine changes following a 160-km race. *Brain, behavior, and immunity*, v. 19, n. 5, p. 398-403, 2005.

OLIVER, S. J.; GOLJA, P.; MACDONALD, J. H. Carbohydrate supplementation and exercise performance at high altitude: a randomized controlled trial. *High altitude medicine & biology*, v. 13, n. 1, p. 22-31, 2012.

ORR, G. W.; GREEN, H. J.; HUGHSON, R. L.; BENNETT, G. W. A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology*, v. 52, n. 5, p. 1349-1352, 1982.

OWLES, W. H. Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise, and associated changes in the CO₂-combining power of the blood and in the alveolar CO₂ pressure. *The Journal of physiology*, v. 69, n. 2, p. 214, 1930.

PÉRONNET, F.; THIBAUT, G.; RHODES, E. C.; MCKENZIE, D. C. Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 19, n. 6, p. 610-615, 1987.

PIRES, F. D. O.; LIMA-SILVA, A. E.; DE OLIVEIRA, F. R. Diferenças entre variáveis de identificação dos limiares ventilatórios. *Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho. Hum*, v. 7, n. 2, p. 20-28, 2005.

REYBROUCK, T.; GHESQUIERE, J.; WEYMANS, M.; AMERY, A. Ventilatory threshold measurement to evaluate maximal endurance performance. *International journal of sports medicine*, v. 7, n. 01, p. 26-29, 1986.

RIBEIRO, J. P. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício: aspectos fisiológicos, metodológicos e clínicos. *Rev HCPA & Fac Med Univ Fed Rio Gd do Sul*, v. 25, n. 3, p. 107-115, 2005.

RIBEIRO, J.; YANG, J.; ADAMS, R.; KUCA, B.; KNUTTEN, H. Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. *Brazilian journal of medical and biological research= Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas/Sociedade Brasileira de Biofisica...[et al.]*, v. 19, n. 1, p. 109-117, 1985.

ROBERTSON, R. J. Central signals of perceived exertion during dynamic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 14, n. 5, p. 390-396, 1981.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Braz. J. Phys. Ther.(Impr.)*, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.

SAUGY, J.; PLACE, N.; MILLET, G. Y.; DEGACHE, F.; SCHENA, F.; MILLET, G. P. Alterations of neuromuscular function after the world's most challenging mountain ultra-marathon. *PloS one*, v. 8, n. 6, p. e65596, 2013.

SCHERR, J.; WOLFARTH, B.; CHRISTLE, J. W.; PRESSLER, A.; WAGENPFEIL, S.; HALLE, M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *European journal of applied physiology*, v. 113, n. 1, p. 147-155, 2013.

SILVA, A. E. L.; OLIVEIRA, F. R. D. Consumo de oxigênio durante o exercício físico: aspectos temporais e ajustes de curvas. *Rev. bras. cineantropom. desempenho hum*, v. 6, n. 2, p. 73-82, 2004.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition*, v. 61, p. 223-44, 1961.

SJÖDIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International journal of sports medicine*, v. 2, n. 01, p. 23-26, 1981.

SKINNER, J. S.; MCLELLAN, T. H. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Research quarterly for exercise and sport*, v. 51, n. 1, p. 234-248, 1980.

SMITH, C. G.; JONES, A. M. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European journal of applied physiology*, v. 85, n. 1-2, p. 19-26, 2001.

SOLBERG, G.; ROBSTAD, B.; SKJONSBERG, O.; BORCHSENIUS, F. Respiratory gas exchange indices for estimating the anaerobic threshold. *J Sports Sci Med*, v. 4, n. 1, p. 29-36, 2005.

STEED, J.; GAESSER, G. A.; WELTMAN, A. Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 26, n. 6, p. 797-803, 1994.

STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International journal of sports medicine*, v. 2, n. 03, p. 160-165, 1981.

STOUDEMIRE, N. M.; WIDEMAN, L.; PASS, K. A.; MCGINNES, C. L.; GAESSER, G. A.; WELTMAN, A. The validity of regulating blood lactate concentration during running by ratings of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 28, n. 4, p. 490-495, 1996.

SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B. R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 28, n. 2, p. 299-323, 2003.

THOMAS, J. R.; NELSON, J. K.; SILVERMAN, S. J. Métodos de pesquisa em atividade física. Artmed Editora, 2009. ISBN 8536327146.

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *British Journal of Sports Medicine*, v. 43, n. 6, p. 392-400, 2009.

VITIELLO, D.; DEGACHE, F.; SAUGY, J. J.; PLACE, N.; SCHENA, F.; MILLET, G. P. The increase in hydric volume is associated to contractile impairment in the calf after the world's most extreme mountain ultra-marathon. *Extreme physiology & medicine*, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.

WASSERMAN, K.; HANSEN, J. E.; SUE, D. Y.; WHIPP, B. J.; FROELICHER, V. F. Principles of exercise testing and interpretation. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, v. 7, n. 4, p. 189, 1987.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M. B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *The American journal of cardiology*, v. 14, n. 6, p. 844-852, 1964.

WASSERMAN, K.; WHIPP, B. J.; KOYL, S.; BEAVER, W. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of applied physiology*, v. 35, n. 2, p. 236-243, 1973.

WHIPP, B. J.; WASSERMAN, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of Applied Physiology*, v. 33, n. 3, p. 351-356, 1972.

YEH, M. P.; GARDNER, R. M.; ADAMS, T.; YANOWITZ, F.; CRAPO, R. " Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *Journal of Applied Physiology*, v. 55, n. 4, p. 1178-1186, 1983.

ZAMUNÉR, A. R.; MORENO, M. A.; CAMARGO, T. M.; GRAETZ, J. P.; REBELO, A. C.; TAMBURÚS, N. Y.; DA SILVA, E. Assessment of subjective perceived exertion at the anaerobic threshold with the Borg CR-10 scale. *J Sports Sci Med*, v. 10, n. 1, p. 130-6, 2011.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Nós, Professor Dr. Raul Osiecki e Poliana de Lima Costa, aluna de pós-graduação - da Universidade Federal do Paraná, estamos convidando o Senhor, atleta corredor de montanhas, a participar de um estudo intitulado **“Predição dos Limiares de Transição Fisiológica em Corredores de Montanhas a partir da Curva de Esforço Percebido durante Teste Progressivo”**. A identificação do limiar de transição fisiológica através da percepção de esforço se torna atraente opção não-invasiva e de baixo custo operacional, para controle da função perceptiva, da intensidade de treinamento e avaliação da aptidão física de corredores de montanhas.

a) O objetivo desta pesquisa é obter evidências de eficácia na utilização de método alternativo não-invasivo e de baixo custo operacional - através da percepção de esforço - para prever os limiares de transição fisiológica - limiar de lactato e limiar ventilatório - em corredores de montanhas durante teste incremental na esteira ergométrica.

b) Caso você participe da pesquisa, será necessário a realização de um teste progressivo em esteira ergométrica para a identificação de limiares de transição. Primeiramente, serão submetidos à avaliações e medidas do corpo - avaliação do peso corporal, estatura e percentual de gordura, através da coleta de espessuras das gorduras do corpo (subescapular, tricipital, peitoral, axilar média, supra ilíaca, abdominal e coxa medial) - para a caracterização da amostra. Posteriormente, um aquecimento de dez minutos será realizado na esteira ergométrica com velocidade de 3 km/h. O teste em esteira ergométrica será realizado por meio do protocolo Heck *et al.* (1985), que consiste em uma velocidade inicial de 6 km/h, com incrementos de 1.2 km/h a cada estágio de três minutos, com 30 segundos de pausa para coleta sanguínea. O teste será conduzido até a exaustão, para a obtenção da velocidade e consumo de oxigênio (VO₂) máximos e obtenção das curvas das variáveis lactato, VO₂, frequência cardíaca e percepção de esforço. Anteriormente ao aquecimento, após o aquecimento, ao final de cada estágio do teste e imediatamente após o teste progressivo, as concentrações de lactato sanguíneo serão obtidas através de 25 µl de sangue capilar da ponta do dedo indicador esquerdo, por meio de materiais descartáveis (perfuradores e capilares). A percepção subjetiva de esforço será mensurada através da escala de Borg CR-10 e frequência cardíaca através de um monitor cardíaco. Durante a realização da pesquisa, o Senhor será orientado a não praticar exercícios físicos nas 48 horas antecedentes aos testes, não ingerir bebida alcoólica ou com cafeína nas 24 horas anteriores e a registrar o consumo alimentar do dia do teste.

c) Para tanto, o Senhor deverá comparecer no laboratório do Centro de Estudos da Performance Física - CEPEFIS, na Universidade Federal do Paraná/UFPR, Rua Coração de Maria, 92 | CEP 80210-132 | Campus Jardim Botânico | Curitiba | PR | Brasil, para realizar o teste ergométrico em laboratório, o que levará aproximadamente uma hora.

d) É possível que o Senhor experimente algum desconforto, principalmente relacionado à dor muscular, cansaço e/ou desconforto na inserção da lanceta na ponta do dedo indicador, durante e logo após o teste. Além disso, deve estar ciente que poderá apresentar náuseas e/ou vômitos decorrentes do esforço na realização dos testes. No entanto, menos de 1% da população americana apresenta desconforto extremo durante

Participante da Pesquisa e/ou Responsável Legal _____

Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE _____

Orientador _____

Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Setor de Ciências da Saúde da UFPR | CEP/SD
Rua Padre Camargo, 285 | térreo | Alto da Glória | Curitiba/PR | CEP 80060-240 |
cometica.saude@ufpr.br - telefone (041) 3360-7259

este tipo de teste (*American College of Sports Medicine - ACSM*). O risco de mal súbito, considerado como qualquer ocorrência repentina da perda súbita da consciência, como desmaios, hipoglicemia, vertigem, dentre outros, é mínimo, mas poderá ocorrer. Sendo assim, durante todo o teste, o participante terá a presença de um médico, para que auxilie na interpretação dos sinais de mal súbito e para que forneça o suporte básico e avançado, necessários para reverter o quadro.

e) Alguns riscos mínimos, relacionados ao estudo podem ser esperados, como dor muscular tardia. No entanto, um dos critérios de inclusão para o estudo é experiência prévia com a corrida e nível de desempenho físico suficiente para a execução do teste. Dessa forma, a atividade proposta é de conhecimento dos indivíduos e faz parte da rotina de avaliações de desempenho dos mesmos.

f) Os benefícios esperados com essa pesquisa incluem determinação de variáveis práticas e de baixo custo para a avaliação e o controle da intensidade do treinamento, para então uma prescrição segura do mesmo. Além disso, o espaço literário poderá ser preenchido com esclarecimentos sobre o tema. Nem sempre o Senhor será diretamente beneficiado com o resultado da pesquisa, mas poderá contribuir para o avanço científico.

g) Os pesquisadores Professor Dr. Raul Osiecki e aluna de pós graduação Poliana de Lima Costa, responsáveis por este estudo, poderão ser localizados no laboratório do Centro de Estudos da Performance Física - CEPEFIS, na Universidade Federal do Paraná/UFPR, Rua Coração de Maria, 92 | CEP 80210-132 | Campus Jardim Botânico | Curitiba | PR | Brasil, através do e-mail raulfisioex@gmail.com ou poli.edf@hotmail.com e/ou através dos telefones (41) 8832-1011 | (41) 9751-9033, no horário de 9h às 17h, para esclarecer eventuais dúvidas que o Senhor possa ter e fornecer-lhe as informações que queira, antes, durante ou depois de encerrado o estudo.

h) A sua participação neste estudo é voluntária e se o Senhor não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá desistir a qualquer momento e solicitar que lhe devolvam este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado.

i) As informações relacionadas ao estudo poderão ser conhecidas por pessoas autorizadas (Orientador, mestranda responsável e técnicos de laboratório). No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a **sua identidade seja preservada e mantida sua confidencialidade**.

j) O material obtido - amostras biológicas, questionários, imagens e vídeos - será utilizado unicamente para essa pesquisa. O armazenamento das amostras biológicas coletadas (sangue capilar da ponta do dedo indicador, para a avaliação das concentrações de lactato sanguíneo) será feito em um refrigerador apropriado para este fim, com temperatura de 5°C e, será destruído/descartado em local apropriado, informado pelo Departamento de Educação Física da Universidade Federal do Paraná/UFPR, ao término do estudo, dentro de seis anos.

k) As despesas necessárias para a realização da pesquisa não são de sua responsabilidade e o Senhor não receberá qualquer valor em dinheiro pela sua participação.

l) Quando os resultados forem publicados, não aparecerá seu nome, e sim um código.

Participante da Pesquisa e/ou Responsável Legal _____
Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE _____
Orientador _____

Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Setor de Ciências da Saúde da UFPR | CEP/SD
Rua Padre Camargo, 285 | térreo | Alto da Glória | Curitiba/PR | CEP 80060-240 |
cometica.saude@ufpr.br - telefone (041) 3360-7259

m) Se você tiver dúvidas sobre seus direitos como participante de pesquisa, você pode contatar também o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP/SD) do Setor de Ciências da Saúde da Universidade Federal do Paraná, pelo telefone 3360-7259.

Eu, _____ li esse Termo de Consentimento e compreendi a natureza e objetivo do estudo do qual concordei em participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios. Eu entendi que sou livre para interromper minha participação a qualquer momento sem justificar minha decisão e sem qualquer prejuízo para mim. Eu entendi o que não posso fazer durante a pesquisa.

Eu concordo voluntariamente em participar deste estudo.

Curitiba, ____ de _____ de _____

Assinatura do Participante de Pesquisa ou Responsável Legal

Assinatura do Pesquisador Responsável ou quem aplicou o TCLE

ANEXO

ESCALA DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO CR-10 – (BORG, G. A., 1982).

Escala CR-10 de Borg	
0	Sem nenhum esforço
0,3	
0,5	Extremamente fraco
1	Muito fraco
1,5	
2	Fraco
2,5	
3	Moderado
4	
5	Forte
6	
7	Muito forte
8	
9	
10	Extremamente forte
...	
●	Máximo absoluto
<small>Escala RPE de Borg ©Gunnar Borg, 1981, 1982, 1988</small>	

Instruções para a Escala CR-10 de Borg

Instruções básicas: 10, "Extremamente forte - D Máx.", é a âncora principal. É a percepção (D) mais intensa que você já experimentou. Contudo, pode ser possível experimentar ou imaginar algo ainda mais forte. Portanto, o "Máximo absoluto" está posicionado um pouco mais abaixo na escala, sem receber um número fixo; esse nível está marcado por um ponto "●". Se você perceber uma intensidade maior do que 10, poderá usar um número mais elevado.

Comece com uma *expressão verbal* e, em seguida, escolha um *número*. Se a sua percepção é "Muito fraca", escolha 1; se "Moderada", escolha 3 etc. Fique à vontade para utilizar meios valores (como 1.5 ou 3.5) ou decimais (como, por exemplo, 0.3; 0.8 ou 2.3). É muito importante que você responda o que percebeu, e não o que acredita que deveria responder. Seja o mais honesto possível, e tente não superestimar nem subestimar as intensidades.

Estimativa do esforço percebido: Desejamos que você estime o seu esforço percebido (D), ou seja, como você sente a intensidade do exercício pesado. Isso depende principalmente da tensão e da fadiga nos seus músculos e da sua sensação de falta de ar ou de dores no peito. Mas você deve prestar atenção somente às suas sensações subjetivas e não aos sinais fisiológicos ou em qual é a atual carga física.

- 1 Corresponde a um exercício "muito fraco", o mesmo que andar lentamente em seu próprio ritmo, durante alguns minutos.
- 3 Não é especialmente intenso e a pessoa não terá problemas em continuar.
- 5 Você está cansado, mas não tem grandes dificuldades.
- 7 Você ainda pode prosseguir, mas terá de se esforçar muito e se sentirá bastante cansado.
- 10 Essa é a maior intensidade que a maioria das pessoas já vivenciou anteriormente.
- Esse é o "Máximo absoluto", por exemplo, 11, 12 ou superior.

Classificação da dor: Quais são as suas piores experiências com a relação à dor? Se você usar 10 como o maior esforço que já vivenciou, ou que pode imaginar, como estimaria as suas três piores experiências de dor?

- 10 “Extremamente forte – D Máx.” é o seu principal ponto de referência. Ele está ancorado em sua pior dor previamente vivenciada, que você acabou de descrever: a “D Máx.”
- Sua pior dor vivenciada, “D Máx.”, pode não ser o nível mais elevado possível. Pode existir uma dor ainda pior. Se o que você sentiu é um pouco mais intenso, estimará a sensação como 11 ou 12. Se for muito mais intenso, por exemplo, 1.5 o “D Máx.”, você estimará como 15!